

DESEMPEÑO SISMICO POR EL MÉTODO PUSH-OVER DE UN EDIFICIO
CONSTRUIDO EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA BAJO LA NORMA NSR-10.

YULER HARRY SALCEDO BARCO



UNIVERSIDAD DE LA COSTA.
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
BARRANQUILLA
2017

DESEMPEÑO SISMICO POR EL MÉTODO PUSH-OVER DE UN EDIFICIO
CONSTRUIDO EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA BAJO LA NORMA NSR-10.

YULER HARRY SALCEDO BARCO

Tesis de grado para optar al título de ingeniero civil

Director:
DIEGO ARTURO BORRERO ROSAS
IVAN DARIO SERRANO ARRIETA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA.
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.
BARRANQUILLA
2017

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 23 de Octubre de 2017

Dedicatoria

A mi madre por darme su apoyo, a mi padre por velar que siempre no me falte nada, y a todas las personas que participaron en este proyecto de grado, por el tiempo, la dedicación, y por la sabiduría que cada uno aportó a esta realidad, que no fue fácil, pero tampoco imposible por el logro alcanzado, por mi esfuerzo, mi empeño y responsabilidad ante la sociedad.

Agradecimiento

*A mis padres **Martha Eduviges Barco Asprilla** y **José Arles Salcedo Rivas** por apoyarme y darme su amor condicionado pero el mejor, , a mi tutor el ingeniero civil **Diego Borrero Rosas**, al ingeniero **Carlos Gaviria Mendoza**, al ingeniero **Armando Balsa**, al ingeniero **Carlos Barbosa** a **Henry Herrera**, a ellos por brindarme su conocimiento y compartir conmigo su experiencia enriquecedora, a mi coach y amigo **Rayner Valdes** y a mi apreciado hermano **Carlos Medina** por estar ahí compartiendo y creciendo juntos y además creer en mí.*

Resumen

Se determinó el desempeño sísmico por el método Pushover, de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10, también la deriva máxima para una amenaza sísmica alta, en el proceso se modeló el edificio en el rango elástico mediante el software Etabs y se realizó un cotejo con los datos de las memorias de cálculo, luego se modeló el edificio en el rango inelástico mediante el software Etabs. Y se interpretó qué elementos fueron presentando rotulas plásticas y cuáles fueron su nivel de desempeño en cada nodo, se obtuvo la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura, se determinó el comportamiento del edificio bajo un sismo leve, moderado, y de alta intensidad, y se determinó su punto de desempeño y también se determinó los niveles de desempeño para cada nivel de amenaza sísmica. Se espera del edificio que en caso de enfrentarse al sismo de diseño la mayoría de elementos queden totalmente operativos y algunos elementos en la parte baja del edificio presenten algún tipo de daño mínimo en elementos estructurales, tanto en vigas como en columnas.

Palabras clave: *Pushover, desempeño sísmico, rotulas plásticas, curva de capacidad, punto de desempeño, niveles de desempeño.*

ABSTRACT

The seismic performance was determined by the Pushover method of a building constructed in the city of Barranquilla under the norm NSR-10, also the maximum drift for a high seismic threat, in the process the building was modeled in the elastic range by the software Etabs and a comparison was made with the data of the calculation memories, then the building was modeled in the inelastic range by the software Etabs. It was interpreted which elements were presented plastic labels and what were their performance level in each node, was obtained the resistance seismic capacity curve of the structure, the behavior of the building was determined under a mild, moderate and high intensity earthquake, and their performance point was determined and performance levels were determined for each level of seismic hazard. It is expected from the building that in case of facing the design earthquake most elements are fully operational and some elements in the lower part of the building present some type of minimal damage in structural elements, beams and columns.

Key words: *Pushover, seismic performance, plastic labels, capacity curve, performance point, performance levels.*

Contenido

Glosario	18
Introducción	19
1. Planteamiento del problema.....	20
1.1 formulación de la pregunta problema	21
2. Justificación.....	22
3. Objetivos	23
3.1 Objetivo general	23
3.2 Objetivos específicos	23
4. Marco referencial	24
4.1 Marco conceptual	24
4.1.1 El diseño basado en desempeño.	24
4.1.2 Niveles de desempeño.	24
4.1.2.1 Totalmente operativo.	24
4.1.2.2 Ocupación Inmediata.	25
4.1.2.3 Seguridad De Vida.	25
4.1.2.4 Prevención de Colapso.	25
4.1.2.5 Colapso.....	25
4.1.3 Fema.	25
4.1.4 ATC 40.....	26

4.1.5 Curva de capacidad.	26
4.1.6 Rótula plástica.	26
4.1.7 Espectros de respuesta elástica.....	27
4.1.8 Espectro de diseño.....	27
4.1.9 El espectro de diseño inelástico	29
4.1.10 Coeficiente de modificación de respuesta.	30
4.1.11 Metodología pushover.....	30
4.1.12 Curva $A_{tc} 40$	31
4.1.13 Cuantías de acero mínima.	32
4.1.14 Cuantías de acero máxima.	32
4.1.15 Cuantía balanceada.....	33
4.1.16 Mecanismo de falla.	33
4.1.17 Capacidad de reducción de energía moderada.	34
4.1.18 Periodo de la estructura	35
4.1.19 Método modal	35
4.1.20 Curva histórica de takeda	35
4.2 Marco teórico	36
4.3 Antecedentes	36
4.4 Marco legal normativo	40
4.5 Marco histórico	40

4.6 Estado del arte	41
5. Metodología	43
5.1 Seleccionar un tema de proyecto.....	43
5.2 Recopilar y analizar información referente al tema del proyecto	43
5.3 Conseguir las memorias del cálculo de un edificio construido.....	43
5.4 Modelar en el rango elástico mediante el software Etabs	43
5.5 Modelar en el rango inelástico mediante el software Etabs	44
5.6 Analizar los resultados	45
5.7 Construir las gráficas de capacidad de la estructura	45
5.8 Determinar los niveles de desempeño.....	45
6. Análisis de resultados.....	46
6.1 Definición de sección para cada elemento vigas y columnas	48
6.2 Definición las propiedades de los materiales	49
6.3 Creación de los elementos shell para las placas	49
6.4 Definición de los diafragmas rígidos para cada piso	50
6.5 Asignación la carga muerta y carga viva	51
6.6 Definición del espectro de respuesta.....	52
6.7 Definición del sismo en x y el sismo en y.....	53
6.8 Definición de las combinaciones de cargas	54
6.9 Definición del caso modal.....	57

6.10 Diseño del acero de refuerzo con Etabs	60
6.11 Análisis de los datos	63
6.11.1 Diagrama de Momentos	63
6.11.2 Diagrama de interacción.	65
6.11.3 Comprobación de derivas.....	80
6.11.4 Asignacion de rotulas plasticas.	84
6.11.5 Amenaza sísmica baja Pushx.	85
6.11.6 Amenaza sísmica baja Pushy.	89
6.11.7 Amenaza sísmica intermedia.....	92
6.11.8 Amenaza sísmica alta.	98
6.11.7 Deriva máxima.	104
7. Conclusiones	105
Referencias	107
Bibliografía	113

Lista de tablas

Tabla 1 Espectro de respuesta construido para la ciudad de barranquilla.....	52
Tabla 2 Secciones y material de las columnas.....	74
Tabla 3 Comprobación de derivas en porcentaje (drift).	82

Lista de figuras

Figura 1. Curva de capacidad. (Mora, Villalba, & Maldonado, 2006)	26
Figura 2. Rótula plástica. (FOPAE, 2011).....	27
Figura 3. Espectro de respuesta. (CRISAFULLI & VILLAFANE, 2002, pág. 2).....	27
Figura 4. Espectro de diseño. (researchgate, 2017)	29
Figura 5. Espectro de diseño NSR-10. (NSR10, 2010, pág. A 27).....	29
Figura 6. Espectro de diseño inelástico. (TAPIA HERNÁNDEZ, 2017).....	30
Figura 7. Curva de capacidad. (upcommons, 2017)	31
Figura 8. Capacidad = Demanda. (upcommons, 2017)	32
Figura 9. Articulación plástica en un pórtico. (FOPAE, 2011).....	33
Figura 10. Rotula plástica en una columna. (civilengineeringtr, 2017)	34
Figura 11. Rotula plástica en una viga. (elsevier.es, 2017)	34
Figura 12. Planta estructural Story 1.....	46
Figura 13. Corte esquemático.	47
Figura 14. Definición de sección columna tipo 2. 60x100cm.	48
Figura 15. Definición de propiedad concreto de 28Mpa.	49
Figura 16. Deficion de propiedades para la placa.....	49
Figura 17. Diafragmas rígidos Story 2 Z=5.8.....	50
Figura 18. Diafragma rígido Story 3 Z=9.3	51
Figura 19. Carga muerta y carga viva.....	51
Figura 20. Espectro de respuesta Barranquilla.	53
Figura 21. Definición del sismo X.....	53
Figura 22. Definición del sismo Y.....	54
Figura 23. Combinación 1 NSR 10.....	54
Figura 24. Combinación 2 NSR 10.....	55

Figura 25. Combinación 3 NSR 10.....	55
Figura 26. Combinación 4 NSR 10.....	56
Figura 27. Combinación 5 NSR 10.....	56
Figura 28. Combinación 6 NSR 10.....	56
Figura 29. Definición del caso modal.....	57
Figura 30. Modo 1 Periodo 3.130.....	58
Figura 31. Modo 2 Periodo 2.960.....	58
Figura 32. Modo 3 Periodo 2.565.....	58
Figura 33. Modo 4 Periodo 0.945.....	58
Figura 34. Modo 5 Periodo 0.861.....	59
Figura 35. Modo 6 Periodo 0.783.....	59
Figura 36. Modo 7 Periodo 0.506.....	59
Figura 37. Modo 8 Periodo 0.447.....	59
Figura 38. Modo 9 Periodo 0.410.....	60
Figura 39. Modo 10 Periodo 0.321.....	60
Figura 40. Diseño de secciones en etabs, acero de refuerzo eje B.....	62
Figura 41. Diseño de secciones en etabs, acero de refuerzo eje C.....	63
Figura 42. Diagrama de Momento Combinación 2. Story 2 Z=5.8m	64
Figura 43. Diagrama de Momento Combinación 2. Story 3 Z=9.3m	64
Figura 44. Diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 15.	65
Figura 45. Columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 15.	66
Figura 46. Diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 1 Comb2.....	66
Figura 47. Columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 1	67
Figura 48. Diagrama de interacción de la columna C3 tipo 4 de 80x60cm Story 5.	67
Figura 49. Diseño de secciones de concreto reforzado en etabs, acero de refuerzo eje I.	68
Figura 50. Viga B entre eje 1 y 6.....	69

Figura 51. Diseño de secciones de concreto reforzado, acero de refuerzo (mm ²), viga B entre el eje 6 y 5 acero de refuerzo solicitado por el modelo 1803mm ²	70
Figura 52. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 1 y 2 story 1.	71
Figura 53. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 2 y 3 story 1	72
Figura 54. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 3 y 4 story 1	72
Figura 55. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 3 y 4 story 1	73
Figura 56. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 5 y 6 story 1.	73
Figura 57. Sismo X.	74
Figura 58. Sismo Y.	75
Figura 59. DEAD.	76
Figura 60. LIVE.	76
Figura 61. Sismo histórico Santa Marta, Magdalena 22 de mayo de 1834. (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, sish.sgc.gov.co, 1834)	77
Figura 62. Sismo histórico Bahía solano, Costa pacífica chocoana 26 de septiembre 1970 (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA , sish.sgc.gov.co, 1970)	77
Figura 63. Sismicidad diaria 28 de julio de 2017 Red sismológica nacional. (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA , sismicidad-diaria, 2017)	78
Figura 64. Cortante basal (V) vs Desplazamiento. PUSHX.	79
Figura 65. Aceleracion espectral(Sa), g vs Desplazamiento espectral (Sd). PUSHX.....	79
Figura 66. Derivas de los puntos(drift), sismo X, sismo Y, en sentido X y sentido Y.	80
Figura 67. Comprobación de derivas sismo X.....	81
Figura 68. Asignacion de rotulas plasticas	84
Figura 69. Pushx desplazamiento paso 0 de 4 amenaza sismica baja.	85
Figura 70. Pushx desplazamiento paso 1 de 4 amenaza sismica baja.	85
Figura 71. Pushx desplazamiento paso 1 de 4 eje 3 amenaza sísmica baja.	86
Figura 72. Pushx desplazamiento paso 2 de 4 amenaza sismica baja.	86

Figura 73. Pushx desplazamiento paso 2 de 4. Eje 2 amenaza sísmica baja.....	87
Figura 74. Pushx desplazamiento paso 3 de 4 amenaza sismica baja.	87
Figura 75. Pushx desplazamiento paso 3 de 4. Eje 3 amenaza sísmica baja.....	88
Figura 76. Pushx desplazamiento paso 4 de 4. amenaza sismica baja.	88
Figura 77. Pushx desplazamiento paso 4 de 4. Eje 2. amenaza sismica baja.....	89
Figura 78. Pushy desplazamiento paso 0 de 3. amenaza sismica baja.	89
Figura 79. Pushy desplazamiento paso 1 de 3. amenaza sismica baja.	90
Figura 80. Pushy desplazamiento paso 2 de 3. amenaza sismica baja.	90
Figura 81. Pushy desplazamiento paso 3 de 3. amenaza sismica baja.	91
Figura 82 Aceleración espectral (S_a) vs Desplazamiento espectral (S_d). PUSHY. Amenaza sísmica baja.....	91
Figura 83. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 amenaza sísmica intermedia.	92
Figura 84. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 amenaza sísmica intermedia.	92
Figura 85. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sísmica intermedia.	93
Figura 86. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 3 amenaza sísmica intermedia.	93
Figura 87. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje I amenaza sísmica intermedia.....	94
Figura 88. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sísmica intermedia	94
Figura 89. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 amenaza sismica intermedia.	95
Figura 90. Pushy desplazamiento paso 1 de 2 Eje B amenaza sismica intermedia.	95
Figura 91. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 Eje B amenaza sismica intermedia.	96
Figura 92. Pushy desplazamiento paso 1 de 2 Eje 6 amenaza sismica intermedia.	96
Figura 93. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 Eje 6 amenaza sismica intermedia.	97
Figura 94. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 amenaza sísmica alta.....	98
Figura 95. Pushy desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sismica alta.....	98
Figura 96. Pushy desplazamiento paso 1 de 3 Eje 2 amenaza sismica alta.	99
Figura 97. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sismica alta.	99

Figura 98. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 Eje I amenaza sismica alta.	100
Figura 99. Pushy desplazamiento paso 3 de 3 Eje I amenaza sismica alta.	101
Figura 100. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 Eje B amenaza sismica alta.	101
Figura 101. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sismica alta.	102
Figura 102. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sismica alta.	102
Figura 103. Espectros de diseño.	103
Figura 104. Deriva maxima.	104

Glosario

Diafragma. Conjunto de elementos estructurales, tal como una losa de entrepiso, que transmite las fuerzas inerciales horizontales a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica. El término diafragma incluye conjuntos arriostrados horizontales. (NSR10, 2010)

Diagrama de interacción de la columna. Los diagramas de interacción son representaciones gráficas que muestran específicamente el comportamiento de la sección de una columna de hormigón armado. (Diagramas de Interaccion en Columnas, 2017)

Deriva de entre piso. Es la diferencia entre los desplazamientos horizontales de los niveles entre los cuales está comprendido el piso.

Fluencia. Se define que un material trabaja a fluencia, comportamiento visco elástico, cuando experimenta alargamientos crecientes en función del tiempo, aún para cargas aplicadas constantes. Los ensayos de fluencia se realizan para analizar las características resistentes de los materiales en las condiciones que muestran un comportamiento visco elástico. (Características mecánicas de los materiales, 2017)

Peso por volumen del concreto. Es la propiedad de la densidad que es la cantidad de peso por unidad de volumen (densidad=peso/volumen) Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra. Densidad de los Hormigones. (Hormigón: Propiedades. citado en , 2017)

Ligeros oscilará entre los 200 y los 1500 kg/m³.

Hormigones Ordinarios:

Apisonados: 2000 a 2200 kg/m³

Vibrados: 2300 a 2400 kg/m³

Introducción

A medida que la computación va avanzando nos va permitiendo realizar cálculos más complejos de una manera más eficaz, sin embargo pese a muchos avances científicos en la actualidad no se pueden predecir grandes sismos de manera eficiente, por lo cual el avance del diseño de las construcciones sismorresistentes se ha visto reflejado más hacia el área del mejoramiento de los modelos de análisis de respuesta de los edificios ante eventos sísmicos.

Los métodos convencionales de diseño estructural, diseñan utilizando la zona elástica de los materiales, en este trabajo se pretende, determinar el desempeño sísmico por el método Pushover, de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla con la norma NSR-10. Yendo un poco más allá de la zona elástica, analizando la estructura en la zona inelástica, y de esta manera realizar un análisis más detallado, gracias al avance de las computadoras personales se puede realizar este tipo de análisis inelástico.

Se pretende determinar los niveles de desempeño, calcular la curva de capacidad así como el factor de reducción por capacidad de disipación de energía para luego compararlo con el método de diseño estructural tradicional. Aunque las diferencias sean mínimas un pequeño avance significa una mejora en el conocimiento y conlleva a la construcción de edificios más resistentes a los eventos sísmicos.

1. Planteamiento del problema

Colombia es un país sísmicamente activo, actualmente, no hay una manera de predecir con precisión dónde y con qué intensidad ocurrirá un movimiento sísmico a nivel mundial, de esta manera la amenaza de un sismo es latente. Por lo cual la normativa del país en el ámbito constructivo, tiene como objetivo que en caso de presentarse un sismo las infraestructuras no colapsen y de esta manera proteger la vida humana. Estudios realizados en otros países han dejado ver algunas deficiencias que los métodos convencionales de diseño estructural presentan, el método de diseño por desempeño es una metodología con la cual se puede subsanar algunas de estas deficiencias pero que es más difícil y dispendioso.

“Ante la presencia de un sismo, la cultura del diseño por desempeño podría salvar millones de vidas. Es un concepto relativamente nuevo, pero empieza a permear con fuerza en la construcción y en el diseño arquitectónico de todo el mundo. Comenzó a desarrollarse en Estados Unidos y en Japón hace dos décadas, a partir de los desastres urbanos que dejaron los sismos de Kobe, Japón, en 1995 y de la Ciudad de México, en 1985.” (FARAH, 2008)

El diseño por desempeño hace 15 años estaba fuertemente limitado por la capacidad computacional". (GARCÍA, 2016) En la actualidad, gracias al avance de la informática y a sus herramientas cada vez más accesibles, hace posible analizar variables complejas en forma rápida y económica, permitiendo refinar y optimizar los diseños. Con computadoras portátiles es posible considerar un gran número de combinaciones de cargas y realizar análisis no lineales lo cual es una gran ventaja.

La ingeniería estructural ha tenido un rápido desarrollo. Hoy existe una acumulación extraordinaria de conocimientos y éstos se encuentran al alcance de todos en el espacio cibernético. El desarrollo ha sido tanto en aspectos conceptuales, tales como factores de mayoración y minoración en diseño (en vez de tensiones admisibles); conceptos de ductilidad y resiliencia; diseño por desempeño en vez de resistencia. (SARRAZIN, 2012)

Rubén Boroschek, Director de la AICE y socio de RBA, destaca la importancia del Diseño por Desempeño. El experto comenta que “esto es lo que están pidiendo los inversionistas chilenos ante terremotos como los del 27 de febrero de 2010: poder seguir utilizando sus viviendas, oficinas, comercios e industrias en plazos razonables o en forma inmediata con una inversión inicial apropiada”. (Ingeniería Estructural, 2012).

En Colombia La propuesta, Diseño sísmico por desempeño de viviendas de interés social (VIS), construidas con muros de concreto fue exaltada en los recientes premios ECIciencia, organizados por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (2010). (El tiempo, 2010)

La aplicación de diseño sísmico por desempeño es una herramienta que permite conocer en detalle el comportamiento de una estructura cuando esta es sometida a un determinado sismo. (Osvaldo & Villanueva, 2009, pág. 84)

1.1 formulación de la pregunta problema

¿Cuál es el nivel de desempeño de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla con la norma NSR-10?

2. Justificación

El mapa no es el territorio pero un buen mapa es cercano a la realidad. Cuan más cercano es un mapa a la realidad mejor es el mapa, porque contiene más detalles de la realidad. El diseño de una infraestructura busca predecir que comportamiento tendrá esta, ante un evento sísmico, es decir, es un modelo de la realidad.

El diseño por desempeño es un concepto relativamente nuevo que permite conocer en detalle el comportamiento de una estructura cuando está sometida a un determinado sismo, por lo tanto es más cercano a la realidad en comparación con el método tradicional de diseño sísmico. La sociedad humana es propensa a quedarse de manos cruzadas y esperar a que ocurra una catástrofe para luego empezar a tomar acción.

No obstante el diseño por desempeño fue desarrollado a raíz de desastres ocurridos en Japón y México. Chile un país sísmicamente activo incorporó a su normativa el diseño por desempeño sísmico algo muy positivo.

El diseño por desempeño es una tendencia mundial que es posible en buena medida gracias al avance en la capacidad de las computadoras portátiles. Colombia al ser un país sísmicamente activo no tenemos que ser los últimos en adoptar e incorporar este nuevo avance en la ingeniería estructural. Deberíamos por lo menos ser uno de los primeros uno de los líderes en cuanto a diseño sismo resistente, debemos recordar el terremoto que afectó enormemente los departamentos de Quindío y Risaralda en el eje cafetero 1999. Ya se ha avanzado bastante, sin embargo se puede continuar avanzando, y no nos olvidemos que el mapa no es el territorio y que el mapa siempre se puede seguir mejorando.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar el desempeño sísmico por el método Pushover, de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla con la norma NSR-10.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la deriva máxima que puede tener el edificio sin colapsar.
- Calcular la curva de capacidad sísmica resistente de la estructura.
- Determinar el comportamiento del edificio bajo un sismo leve, moderado, y de alta intensidad.
- Determinar el punto de desempeño del edificio.

4. Marco referencial

4.1 Marco conceptual

4.1.1 El diseño basado en desempeño. El concepto básico de diseño sísmico basado en el desempeño es para proveer al ingeniero con la capacidad de diseñar edificios que tengan una predictibilidad y un comportamiento fiable en un sismo, y también permitir a los dueños y otros accionistas cuantificar las expectativas de los riesgos del edificio y seleccionar un nivel de comportamiento que esté de acuerdo a sus necesidades y además mantengan un nivel mínimo de confianza. (FEMA 349)

Requiere entender: El Desempeño deseado. La relación entre las características del diseño y el desempeño. Obliga al Diseñador a predecir el desempeño esperado para cuando un evento de diseño se presente.

Propietario y/o cliente se pregunta ¿quedará seguro el edificio?, ¿podré usarlo después del sismo?, ¿cuánto costará repararlo?, ¿cuánto durará la reparación?

El ingeniero se pregunta acerca del edificio, cuánto mostrará de fluencia y agrietamiento, pandeo y deformación permanente, daños estructurales, y daños no estructurales.

4.1.2 Niveles de desempeño. Fema 273.

4.1.2.1 Totalmente operativo. Nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Los daños sobre la infraestructura son bajos. El inmueble continúa enteramente para sus ocupantes. Los servicios de la construcción continúan prácticos y servibles para el uso. En general no se requieren reparaciones.

4.1.2.2 Ocupación Inmediata. En este nivel de desempeño se espera un mínimo daño o ningún daño en los elementos estructurales y solo un mínimo daño en los elementos no estructurales. Estaría seguro para reocupar inmediatamente después de un sismo considerable. Alguno de sus sistemas podrían no funcionar y quizás podría ser necesario para el desempeño de los sistemas, limpieza y reparación e incluso esperar a el restablecimiento de los servicios públicos. En este nivel el riesgo para la seguridad de la vida es muy bajo.

4.1.2.3 Seguridad De Vida. En este nivel se presentan extensos daños en el los elementos estructurales y en los elementos no estructurales puede ser requerida una reparación antes de reocupar el edificio y la reparación puede ser económicamente inviable el riesgo para la vida en este nivel de desempeño es bajo.

4.1.2.4 Prevención de Colapso. Este nivel de desempeño consiste en la prevención del colapso, no se consideran las vulnerabilidades no estructurales. Se presenta un significativo peligro para la vida resultante del fallo o el desprendimiento de componentes no estructurales. De manera que el edificio no colapse y así se pueden evitar muchísimas pérdidas de vida. Muchas construcciones que experimenten este nivel podrían estar económicamente perdidas. (Gálvez Villacorta, Verificación del desempeño sísmico metodología y ejemplos, 2010)

4.1.2.5 Colapso. Este nivel de desempeño el elemento falla.

4.1.3 Fema. Agencia Federal para la Gestión de Emergencias, del Gobierno de los Estados Unidos que da respuesta a huracanes, terremotos, inundaciones y otros desastres naturales. Nació en 1979. (FEMA 349)

4.1.4 ATC 40. Tecnología Aplicada a la consultoría. Comisión de seguridad sísmica de California. Programa de mejoras prácticas de modernización sísmica. Nació en 1990. (ATC 40.)

4.1.5 Curva de capacidad. La curva de capacidad relaciona el cortante basal V con el desplazamiento lateral, para encontrar la curva de capacidad lo que más se utiliza es la Técnica del Pushover dentro del análisis estático no lineal. *Figura 1*

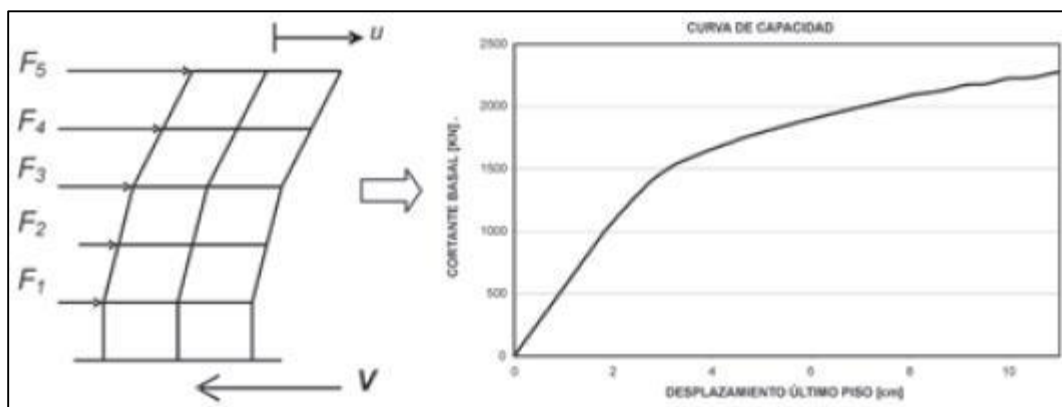


Figura 1. Curva de capacidad. (Mora, Villalba, & Maldonado, 2006)

4.1.6 Rótula plástica. Se define este punto como aquel en que la sección no es capaz de absorber mayor momento a flexión y empieza únicamente a rotar. Es una definición que se la utiliza en el campo de la Ingeniería Sísmica para encontrar fórmulas que simplifican algún problema, (AGUIAR, 2003, pág. 77) en la *Figura 2*, se puede observar con puntos negros los lugares indicando la formación de las rotulas.

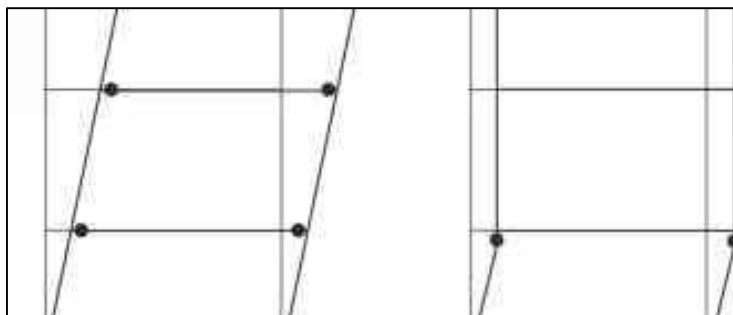


Figura 2. Rótula plástica. (FOPAE, 2011)

4.1.7 Espectros de respuesta elástica. Representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto, (CRISAFULLI & VILLAFANE, 2002, pág. 3) ver *Figura 3*.

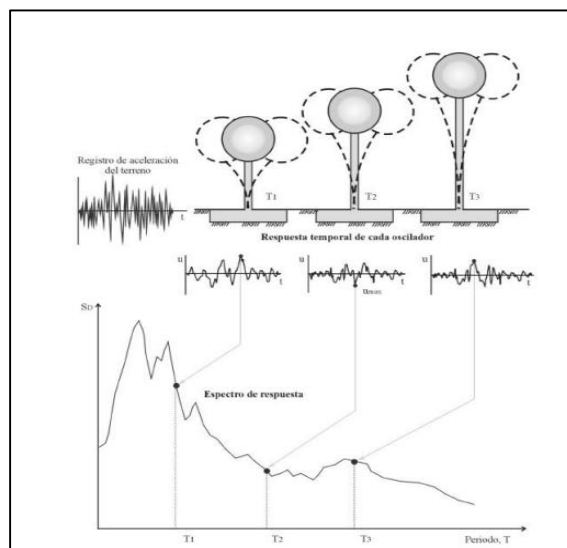


Figura 3. Espectro de respuesta. (CRISAFULLI & VILLAFANE, 2002, pág. 2)

4.1.8 Espectro de diseño. Un espectro de diseño, es la herramienta, que permite calcular las construcciones, teniendo en cuenta la actividad sísmica de la región, las condiciones locales de la

respuesta del suelo, y las características de la estructura (periodo de vibración). El Espectro de Capacidad relaciona el Desplazamiento Espectral con la Aceleración Espectral, el mismo que se obtiene a partir de la Curva de Capacidad Sísmica. Normalmente se obtiene el espectro de capacidad para el primer modo de vibración, pero se puede encontrar dicho espectro para cualquier modo. (Geofisicaexploraciones, 2017)

Espectro de diseño las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descriptos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismo resistente.

Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos. Los espectros de respuesta, se obtienen para un terremoto dado, y espectros de diseño, los cuales se aplican al cálculo y verificación de estructuras y representan la sismicidad probable del lugar. *Figura 4.*

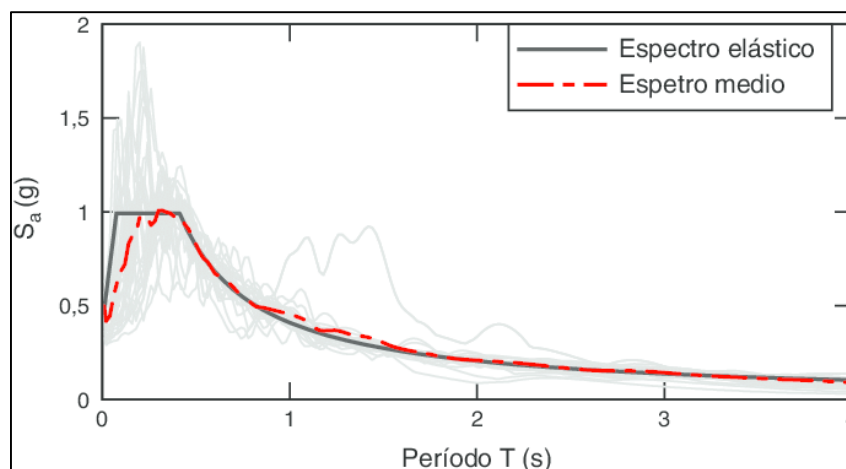


Figura 4. Espectro de diseño. (researchgate, 2017)

La norma NSR10 en el título A.2.6, especifica los parámetros para la construcción del espectros de diseño, ver *Figura 5*.

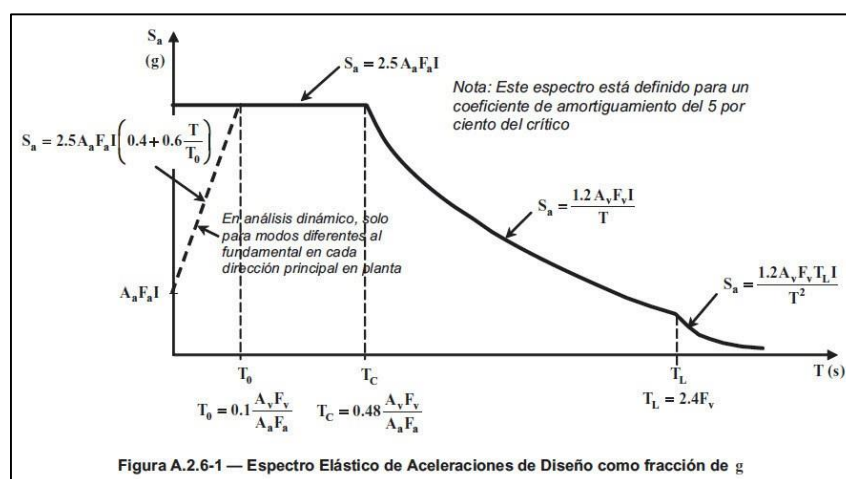


Figura 5. Espectro de diseño NSR-10. (NSR10, 2010, pág. A 27)

4.1.9 El espectro de diseño inelástico. Se obtiene a partir de la reducción del espectro de diseño elástico por medio del uso de los factores de modificación o factores de reducción dependientes de la ductilidad. *Figura 6*. La importancia central en ingeniería sísmica es comprender la respuesta de las estructuras deformadas dentro del rango inelástico durante un movimiento intenso del suelo. (PAZ, 2012, pág. 190)

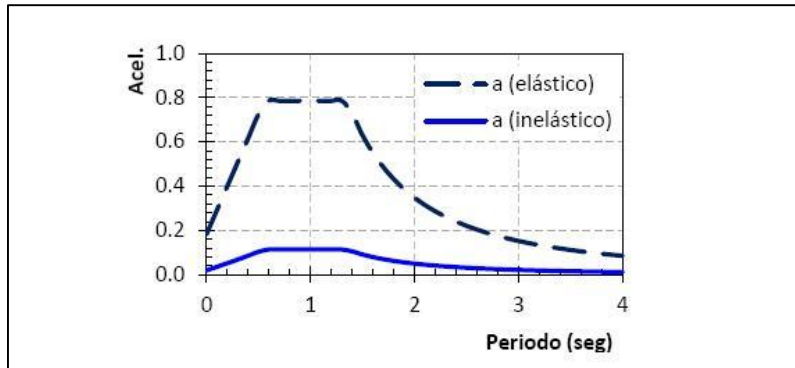


Figura 6. Espectro de diseño inelástico. (TAPIA HERNÁNDEZ, 2017)

4.1.10 Coeficiente de modificación de respuesta. El coeficiente de capacidad de disipación de energía (R), se prescribe Para cada sistema estructural de resistencia sísmica, cuyo valor depende del tipo de sistema estructural y de las características de capacidad de disipación de energía propias del material estructural que se utiliza en el sistema. Es una medida de la capacidad de disipación de energía general del sistema de resistencia sísmica cuando los movimientos sísmicos hacen que responda inelásticamente. (PAZ, 2012)

4.1.11 Metodología pushover. Procedimiento no lineal estático de plastificación progresiva “pushover”. Se debe definir un modelo matemático de la estructura que represente adecuadamente la distribución espacial de la masa y de la rigidez del sistema estructural considerando los efectos de la no linealidad de los componentes para los niveles de deformación que excedan el límite proporcional.

4.1.12 Curva Atc 40

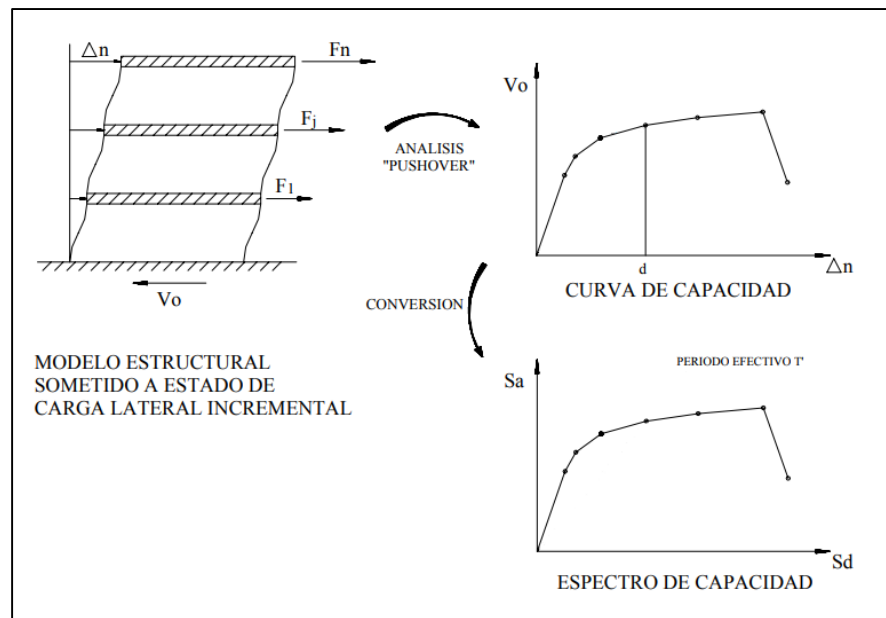


Figura 7. Curva de capacidad. (upcommons, 2017)

Para la construcción de la curva Atc 40, se representa las características de la edificación a través de un análisis estático no lineal, luego se construye la curva de capacidad, luego se convierte la curva de espectro de capacidad *Figura 7* y simultáneamente se grafica el espectro de diseño reducido que corresponde a la sismica junto con la curva de capacidad de la estructura *Figura 8*. Se transforma la aceleración demanda espectral S_a , en una fracción de la aceleración de la gravedad. Y se convierte el periodo, en desplazamiento espectral S_d en función del periodo y la aceleración espectral. (upcommons, 2017)

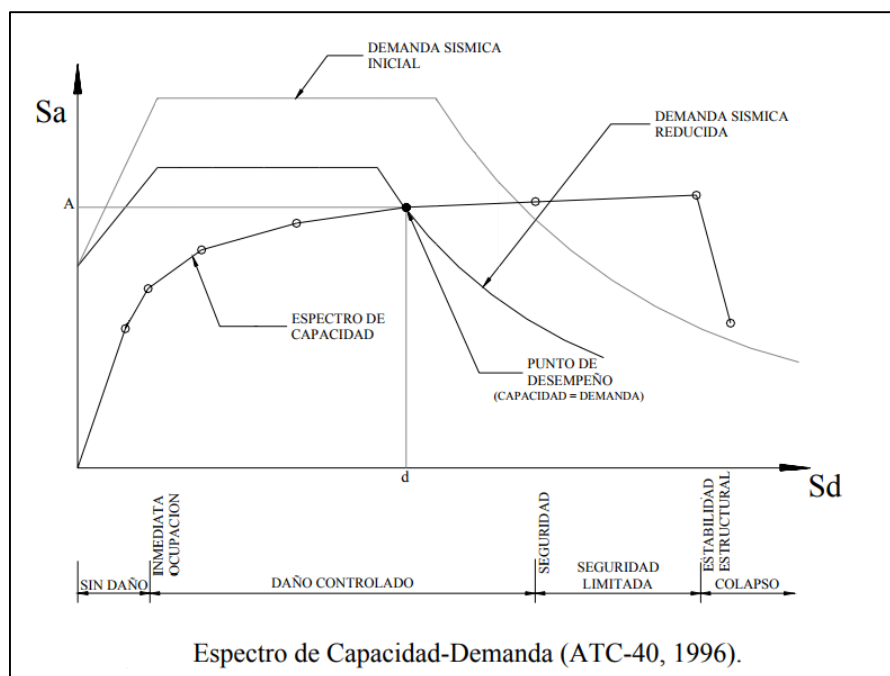


Figura 8. Capacidad = Demanda. (upcommons, 2017)

4.1.13 Cuantías de acero mínima. Si el contenido de acero de la sección es bajo, el acero alcanza la resistencia f_y de cedencia antes que el concreto alcance su capacidad máxima. La fuerza del acero $A_s f_y$ permanece entonces constante a mayores cargas. (BARRIOS, 2017)

4.1.14 Cuantías de acero máxima. Si el contenido de acero de la sección es grande, el concreto puede alcanzar su máxima capacidad antes que ceda el acero. En tal caso aumenta la profundidad del eje neutro, lo que provoca un aumento en la fuerza de compresión. Esto se comienza ligeramente por una reducción en el brazo de palanca. Nuevamente se alcanza la resistencia a flexión en la sección creando la deformación en la fibra a compresión externa del concreto es aproximadamente 0.003. Para una falla a compresión $f_s < f_y$ ya que el acero permanece dentro del rango elástico, se puede determinar el esfuerzo del acero, en términos de la profundidad del eje neutro, considerando los triángulos semejantes. (BARRIOS, 2017)

4.1.15 Cuantía balanceada. La cuantía balanceada del área de acero puede determinarse con base en las condiciones de que en la falla balanceada la deformación en el acero sea exactamente igual que la deformación del concreto (0.003) Cuando el acero alcanza la fluencia al mismo tiempo que el concreto alcanza la deformación de la fibra externa de 0.003 entonces provoca falla a tensión. (BARRIOS, 2017)

4.1.16 Mecanismo de falla. Es el proceso o secuencia que ocurre en el elemento estructural cuando falla. Puede haber un mecanismo de falla o varios que se acoplan. Ejemplos: mecanismo de pandeo, mecanismo de fractura. Falla es una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Una falla no necesariamente produce colapso o catástrofe. ver *Figura 9*. (academic.uprm.edu, 2017)

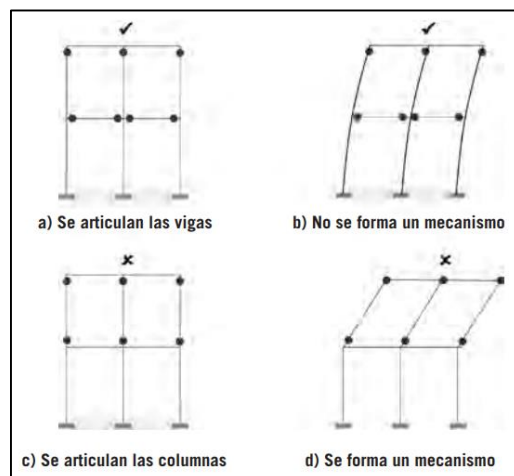


Figura 9. Articulación plástica en un pórtico. (FOPAE, 2011)

Cuando se presenta rotulas plásticas en las vigas ver *Figura 11*, no se genera un mecanismo de falla, sin embargo cuando se presenta rotulas plásticas en las columnas ver *Figura 10*, se genera un mecanismo de falla. Lo ideal es que se presente primero la formación de rotulas plásticas en las vigas y por último en la columnas, ver *Figura 9*.

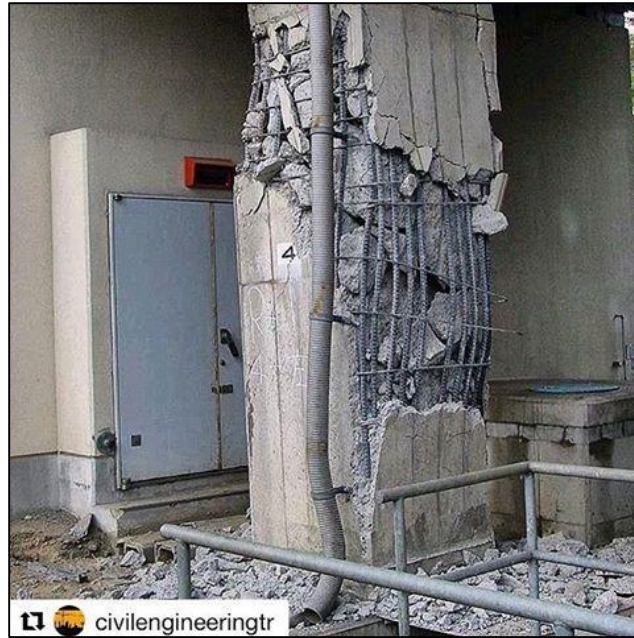


Figura 10. Rotula plástica en una columna. (civilengineeringtr, 2017)



Figura 11. Rotula plástica en una viga. (elsevier.es, 2017)

4.1.17 Capacidad de reducción de energía moderada. Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. Se cuantifica por medio de la energía de deformación que el sistema, elemento o sección es capaz de disipar en ciclos histeréticos consecutivos. Cuando hace referencia al sistema de resistencia sísmica de la edificación como un todo, se define por medio del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico R_0 , el

cual después se afecta debido a irregularidades de la estructura y a ausencia de redundancia en el sistema de resistencia sísmica, para obtener el coeficiente de disipación de energía. El grado de capacidad de disipación de energía se clasifica como especial (DES), moderado (DMO) y mínimo (DMI). (NSR10, 2010).

4.1.18 Periodo de la estructura. Es el tiempo requerido para dar una oscilación en la dirección que se está considerando; una estructura rígida tiende a oscilar rápidamente y con un período de vibración corto, mientras que una flexible tiende a oscilar más lentamente y su período es más largo. (parro.com, 2017)

4.1.19 Método modal. El análisis modal es una técnica de análisis dinámico de estructuras. Tiene como objetivo la estimación de propiedades dinámicas las estructuras como las frecuencias y los modos naturales al igual que el amortiguamiento (catec.aero, 2017), las estructuras son tridimensionales y pueden desplazarse o deformarse en las 3 direcciones del espacio, existen varios “modos” o “formas “ en los que una estructura puede vibrar u oscilar frente a una excitación sísmica determinada. Cada modo tiene además una deformada característica y una frecuencia de vibración asociada diferente. (citethisforme.com, 2017)

4.1.20 Curva histórica de takeda El modelo consiste en una curva envolvente trilineal bajo cargas monotónicas, una para cada sentido de carga, con cambios de pendiente en los puntos de agrietamiento y de cedencia. El modelo tiene 16 reglas para la descarga y la recarga que cubren todas las posibles secuencias de carga. (arquys.com, 2017)

4.2 Marco teórico

Un edificio, localizado en la ciudad de Barranquilla. Departamento Atlántico Colombia. Edificio construido según la Norma Sismo-Resistente Colombiana, NSR-10, con una capacidad de reducción de energía moderada (DMO), zona de amenaza sísmica baja, y coeficiente de modificación de respuesta correspondiente (R) de 5.0, aunque para diseño se empleó 4.50, el grupo de uso es el I y el perfil de suelo es D.

4.3 Antecedentes

Hoz y Rico en su trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil estimaron, el nivel de desempeño al edificio SURAMERICANA, ubicado en la ciudad de barranquilla de acuerdo al desplazamiento lateral obtenido de un análisis no lineal, concluyendo que el edificio trabaja debidamente en el rango inelástico y para una DMI energía mínima no es necesario hacer reparación estructural, para una DMO energía moderada, el edificio resulta con serios daños estructurales, pero garantizando la vida de los ocupantes, para un DME energía especial la estructura queda en riesgo hasta con posibilidad de colapsar. (DAVID DE LA HOZ & RICO ORDOÑEZ, 2015)

Galvez realizó la evaluación del desempeño sismorresistente usando análisis no lineal en el tiempo de una estructura en Perú, en su tesis para optar el título de ingeniero civil, llegando a la conclusión de que el análisis no lineal es un procedimiento mucho más tedioso, pero que brinda información más útil para revisar el diseño, y finalmente obtuvo que ante un sismo muy raro una deriva de 1.10%, obteniendo algunos daños irreparables, sin embargo en ningún momento la estructura estuvo cerca del colapso total. Se concluyó que la edificación cumple con

los requerimientos de resistencia y rigidez estipuladas por la norma Peruana E.030 (CHUNAS & ADOLFO, 2011)

Sánchez En su tesis para obtener el grado académico de maestro en ciencias en ingeniería y administración de la construcción analizaron el Diseño Sísmico Basado en Desempeño para una Edificación Esencial de Concreto Reforzado - Edición Única concluyeron que los resultados obtenidos del diseño por desempeño resultaron ser más precisos que el método por resistencia del RCDF (México), las curvas de capacidad proporcionaron información exacta de la rigidez inicial, a la primera fluencia y posteriores, para cada nivel de desempeño y demanda sísmica solicitada.

Un diseño por desempeño permite también apreciar la concentración de los esfuerzos en la edificación y compararlos con la evolución de los daños que se presenta hasta el punto en que se inicia el colapso de la estructura, también se apreció con claridad el comportamiento de cada elemento en el rango inelástico, y el comportamiento del edificio para cada demanda. Las distorsiones obtenidas demostraron que el procedimiento de diseño sísmico de RCDF provee un comportamiento adecuado al colapso, y como era de esperarse es muy conservador, lo mismo para el estado límite de servicio. (SÁNCHEZ AGUILAR, 2010, pág. 128)

Villanueva en su tesis para optar al título de ingeniero civil efectuó un diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado. Concluyendo que la estructura se mantiene en el rango elástico y que permanecerá Operacional durante la ocurrencia del Sismo Frecuente y Ocasional, e incursiona en el rango inelástico y garantizara la Seguridad de Vida

durante la ocurrencia del Sismo Raro y Muy Raro. También concluyeron que la aplicación de diseño sísmico por desempeño es una herramienta que permite conocer en detalle el comportamiento de una estructura, cuando esta es sometida a un determinado sismo, pudiendo de esta manera comprobar si el diseño preliminar utilizando la normativa nacional, es consistente con las expectativas de diseño de esta. (Villanueva & Osvaldo, 2009, pág. 84)

Sánchez y Terán efectuaron el estudio diseño por desempeño de estructuras dúctiles de concreto reforzado ubicadas en la zona del lago del distrito federal: ejemplo de aplicación. Concluyendo que debido al desempeño no satisfactorio de algunas estructuras diseñadas conforme a reglamentos actuales de diseño sísmico en México, problemática que preocupó a la comunidad internacional de ingeniería estructural, debido a las grandes pérdidas económicas derivadas de eventos sísmicos recientes, se formuló en este artículo una nueva metodología de diseño basada en el control explícito de la respuesta dinámica de las estructuras. (SÁNCHEZ BADILLO & TERÁN GILMORE, 2008)

Carrillo realizó el artículo Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño. Concluyendo que usando un enfoque de diseño por desempeño, es posible tener una estimación más acertada del comportamiento real de las estructuras, permitiendo, en la mayoría de los casos, acortar o prescindir de arreglos estructurales posteriores estipuladas por normativas nuevas. (CARRILLO, 2008)

Monsalve. Llevo a cabo el análisis y diseño sísmico por desempeño de edificios de muros estructurales en su tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de

Magister Scientiae en Ingeniería Estructural, al final se elaboró un programa computacional para el estudio del diseño por desempeño de edificios construidos con muros estructurales.

(MONSALVE DÁVILA, 2005)

Falconi, Haarala, Adolfo y Haarala. Realizaron el análisis por desempeño de un edificio de hormigón armado de la ciudad Salta Argentina construido en el año 2000. Concluyeron que la edificación no fue capaz de soportar el sismo raro y muy raro. Además de que la estructura no tenía suficiente ductilidad. Planteando como recomendación mejorar el detallado del refuerzo transversal ya que mejoraba notablemente el comportamiento sísmico de la estructura. (Aguar Falconi, Haarala Orosco, Adolfo Caro, & Haarala Orosco, 2004)

Taipe reunió los Criterios de diseño por desempeño para la norma Peruana de diseño sismorresistente, llegando a concluir que los requerimientos de los códigos de diseño Peruano no interpretan el desempeño sismorresistente de las obras civiles. La metodología de Diseño por Desempeño puede ser aplicable para todas las obras civiles. El Diseño por Desempeño interpreta la filosofía de diseño sismorresistente de la mayoría de códigos en el mundo. (TAIPE CARBAJAL, 2003, pág. 190)

Gallego estudiante de Magíster en Ingeniería publicó en la revista de ingeniería de la universidad de los andes, Diseño sísmico por desempeño en Colombia, Se concluyó que es necesario evaluar con cuidado una tecnología antes de ser implantada para diseños, y que el implantar recomendaciones de otros países en muchos casos no necesariamente es correcto. (GALLEGO, 2001, pág. 45)

4.4 Marco legal normativo

La norma NSR-10. Contempla en el título A en el apéndice A.3 Requisitos generales de diseño sísmo resistente. Establece.

En el título A.3.4.2.4 — Método de análisis no lineal estático de plastificación progresiva. Puede utilizarse el método del análisis no lineal estático, conocido como procedimiento “Pushover” o de plastificación progresiva, en aquellos casos que a juicio del ingeniero diseñador se desee evaluar la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico por este procedimiento. Cuando se utilice este método de análisis deben cumplirse los requisitos dados en el Apéndice A-3 y además se deben confrontar con otro de los métodos de análisis permitidos por la norma, utilizando en el diseño lo más exigente. (NSR10, 2010)

4.5 Marco histórico

228 Si un albañil hace una casa a un hombre y la termina, le dará, por cada sar construido, 2 siclos de plata de honorario.

229 Si un albañil hace una casa a un hombre y no consolida bien su obra y la casa que acaba de hacer se derrumba y mata al dueño de la casa, ese albañil será ejecutado.

230 Si muere un hijo del dueño de la casa, que ejecuten a un hijo de ese albañil.

231 Si muere un esclavo del dueño de la casa, le darán al dueño de la casa esclavo por esclavo.

760 (AdC). Desde la antigüedad el desempeño era exigido. (CÓDIGO DE HAMMURABI)

4.6 Estado del arte

Raj y Saravanan. Realizaron un análisis no lineal de estructuras con marco de concreto reforzado usando Sap2000. Llegando la conclusión de que los puntos de la estructura mostraron una rápida degradación, y en los entre pisos se incrementó rápidamente la deflexión en el rango inelástico. Severos daños tuvieron lugar en los puntos, y bajo la losa ocurrieron daños moderados, observado en el primero y segundo piso, y un daño menor observado en la cubierta. Micro grietas aparecieron incluso en la franja elástica. Las grietas se aparecieron con el incremento en la deflexión. (RAJ & MR. SARAVANAN, 2016, pág. 45)

Ishwarya, Arockiasamy y Senthil. Realizaron un análisis Pushover inelástico no lineal de las cubiertas tipo en el mar a lo largo de plataformas con diferentes sistemas de arriostramiento considerando la interacción suelo estructura. Concluyendo que el análisis Pushover sobre la cubierta estructural muestra que posee una rigidez sustancialmente en exceso de las cargas del diseño original. También concluyeron que el tipo de arriostramiento no juega un rol importante en el diseño sísmico de las cubiertas considerando la interacción suelo estructura. (ISHWARYA, AROCKIASAMY , & SENTHIL, 2016, pág. 152)

Alvear y Ruales. Realizo el diseño por desempeño en edificios de hormigón armado, de acero estructural, y mixtos. Llegando la conclusión que el edificio de hormigón armado no cumplió con los requerimientos de desplazamiento del nudo de control establecidos por la norma FEMA 273, para el nivel de seguridad básico, debido a su relación de aspecto. También pudo determinar que la redundancia de elementos estructurales que soportan las cargas laterales afecta directamente al punto de desempeño de la estructura. Siendo este capaz de resistir una mayor

fuerza lateral a medida que el número de elementos resistentes aumenta. (ALVEAR S & RUALES, 2014, pág. 214)

Arévalo y Bermúdez. Encontró los niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado. Concluyendo que el SAP2000 es una herramienta muy potente, fácil de usar, con una interfaz gráfica sencilla para el usuario, simplifica de gran manera el análisis Pushover y la obtención de las curvas de capacidad, espectro de capacidad y el espectro de demanda.

Se Pudo establecer una relación entre niveles de daño y niveles de desempeño, la cual corresponde a la encontrada por el SEAOC, (1995) concluyó que el espectro capacidad-demanda, constituye una herramienta gráfica bastante práctica que permite determinar entre otras cosas; La respuesta estructural máxima del sistema. También mediante la gráfica del espectro capacidad-demanda se logró estimar el desempeño sísmico que tendrá la edificación durante un sismo específico, lo cual requiere la definición de los rangos de desplazamiento espectral asociado a cada nivel de desempeño estructural. (ARÉVALO PÉREZ & BERMÚDEZ FLOREZ, 2007, pág. 134)

5. Metodología

5.1 Seleccionar un tema de proyecto

Como primer paso se realizó la selección de la temática, se decidió por el área de estructuras, más específicamente por el diseño por desempeño de un edificio construido en la ciudad de barranquilla.

5.2 Recopilar y analizar información referente al tema del proyecto

Se recopiló información acerca del tema, se encontró bastante información trabajos de investigación en el área de desempeño sísmico así como también trabajos de investigación en el método pushover, tesis de maestrías y también trabajos de grado para optar al título de ingeniero civil de otros países y otras ciudades.

5.3 Conseguir las memorias del cálculo de un edificio construido

Se buscó información de un edificio construido en la ciudad, se dificultó la labor y tomo un tiempo considerable esta tarea, con la ayuda de la universidad, y otras entidades junto con el sector privado se logró conseguir esta valiosa información.

5.4 Modelar en el rango elástico mediante el software Etabs

Este proceso tomo su tiempo consistió en modelar la información conseguida del edificio, dibujar todo el edificio, cada uno de sus elementos uno a uno en el software estructural y realizar un diseño lo más cercano a la realidad y de esta manera realizar un chequeo a los miembros estructurales.

Después de dibujar todas las secciones, de definir las propiedades de los materiales, dibujar el acero de las columnas, asignarles su respectiva sección a cada elemento, se creó los elementos Shell para las placas, se definió los diafragmas rígidos para cada piso, se le asignó la carga muerta, la carga viva, se definió el espectro de respuesta, se definió el sismo en X el sismo en Y, de definió las combinaciones de cargas, se definió en caso modal, 3 modos para piso, 45 modos de vibración en total, se corrió el modelo se comparó el resultado obtenido de la modelación con los datos de la memoria de cálculo, hasta aquí consistió la parte de diseño elástico.

5.5 Modelar en el rango inelástico mediante el software Etabs

El edificio a analizar en el rango inelástico. En este paso se cargó el programa con las variables inelásticas, se tomó cada elemento y se insertó su acero de refuerzo en cada nodo uno por uno en vigas y columnas, luego se le asignó a cada elemento adyacente a las columnas su respectiva rotula plástica, se introdujo las variables del pushover en el rango inelástico al programa y se corrió, este proceso es bastante lento debido a la cantidad de datos a procesar lleva un poco más de dos horas

5.6 Analizar los resultados

Después de terminar todo el proceso, se verifican los pasos del pushover para ver qué elementos van presentando rotulas plásticas y cuál es su nivel de desempeño, y así observar cual es el mecanismo de falla del edificio. Se revisó los momentos de los pórticos, se revisó, los modos de vibración.

5.7 Construir las gráficas de capacidad de la estructura

Con la ayuda del software se construyen las gráficas de capacidad del edificio y se encuentro el punto de desempeño.

5.8 Determinar los niveles de desempeño

Después de analizar todos los elementos se expresa el comportamiento esperado del edificio en caso de presentarse el sismo de diseño.

6. Análisis de resultados

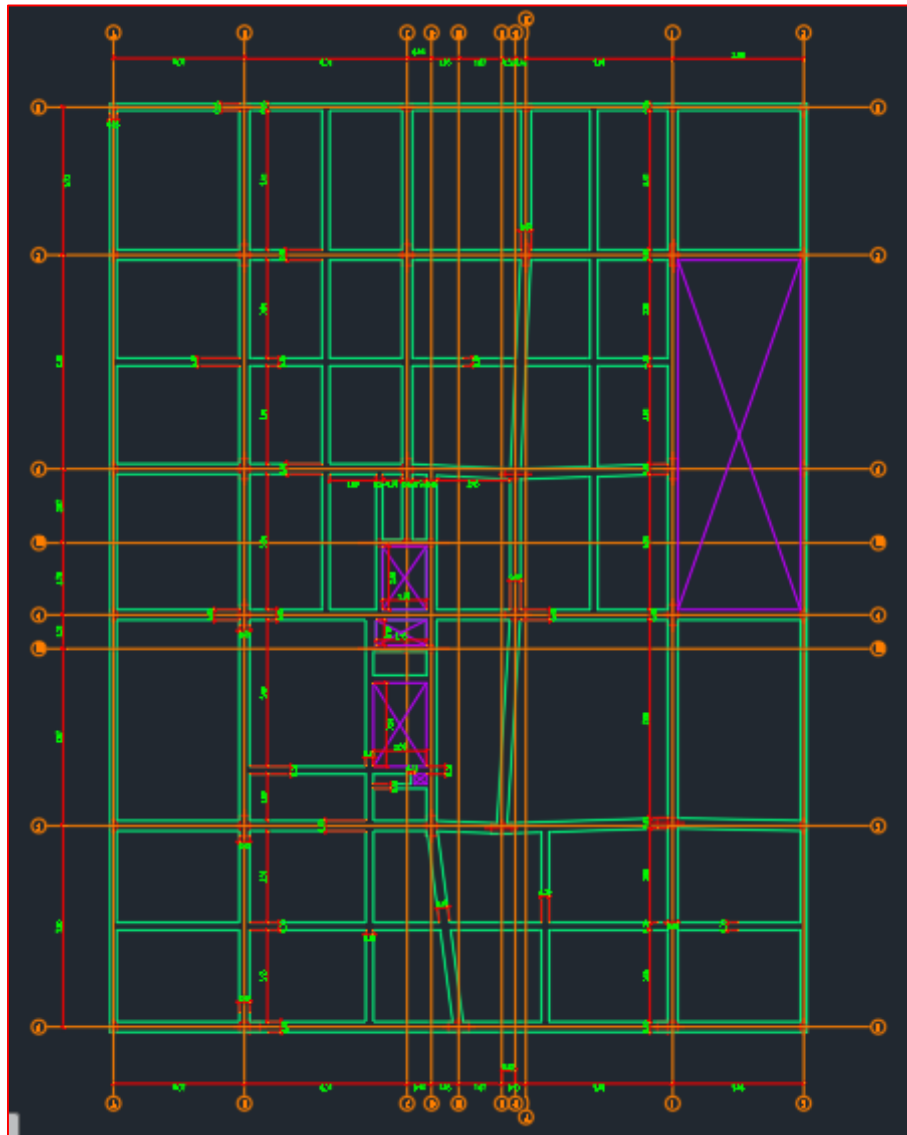


Figura 12. Planta estructural Story 1

Fuente: Elaboración manual del autor

Planta estructural Story 1, se puede observar cada uno de los ejes y los elementos estructurales así como también los ductos y su configuración en planta, se observa que las vigas principales son de 40x50, mientras las vigas secundarias son de 30x50 también existen elementos de dimensiones menores como las vigas de la fachada 12x50 y otras vigas de 18x50 y en las escaleras de 25x50, ver *Figura 12*.



Figura 13. Corte esquemático.
Fuente: Elaboración manual del autor

El edificio presenta un sistema de pórticos resistentes a momento y una losa aligerada, presenta una altura de 46.5 metros. Los primeros niveles presentan una altura de 2.9 metros, Story 1 y Story 2, luego presenta una altura de 3.5 metros Story 3, luego presentan una altura de 3.1 hasta la cubierta, ver *Figura 13* Figura 13. Corte esquemático., los entrepisos Story 1 y Story 2 son muy similares mientras que los siguientes pisos son iguales correspondiente a la zona de

apartamentos sólo variando en la cubierta ver *Figura 13*. En la realización de este análisis no se toma en cuenta la cimentación ni tampoco algunos elementos tales como: las escaleras, sin embargo se tuvieron en cuenta la mayoría de elementos estructurales los cuales corresponden como tal al sistema sismo resistente del edificio.

6.1 Definición de sección para cada elemento vigas y columnas

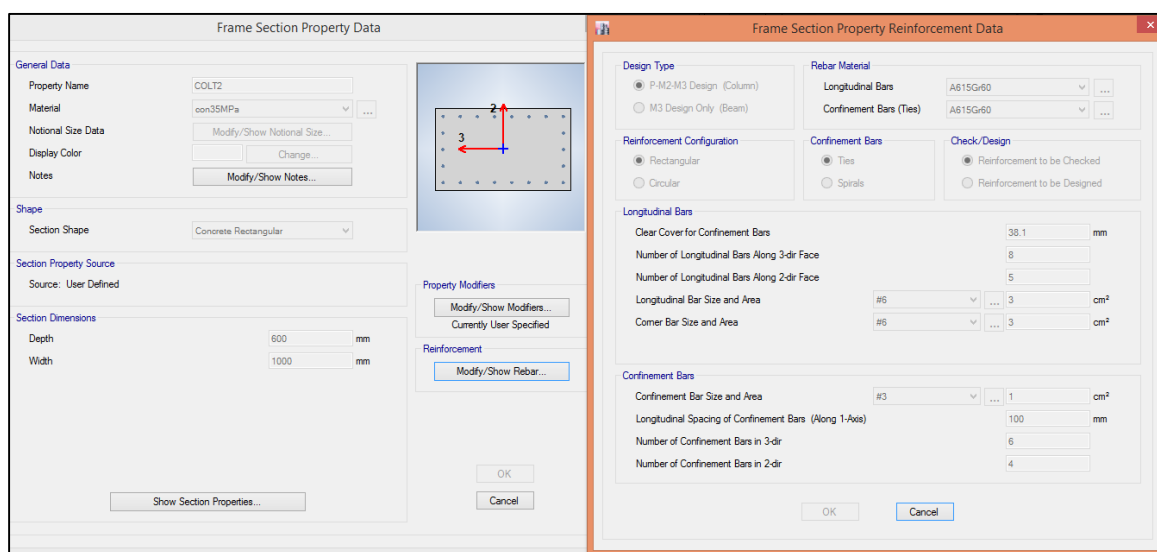


Figura 14. Definición de sección columna tipo 2. 60x100cm.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se definió su longitud geométrica Así como también las barras de refuerzo, indicando el número de varillas en cada cara y la dimensión de cada varilla También se introdujo el espaciamiento de los flejes y sus respectivas dimensiones ver *Figura 14*. Las columnas mantuvieron su sección desde el arranque hasta la cubierta es decir que no hubo variación o disminución de su geometría, ni tampoco de sus elementos de acero estructural por lo cual podemos suponer y esto también debido a que las cargas son similares en todos los pisos que las columnas de los niveles superiores tendrán una sollicitación mucho menor a las columnas en los niveles más bajos por lo cual es importante revisar las columnas de los pisos Story 1 y Story 2.

6.2 Definición las propiedades de los materiales

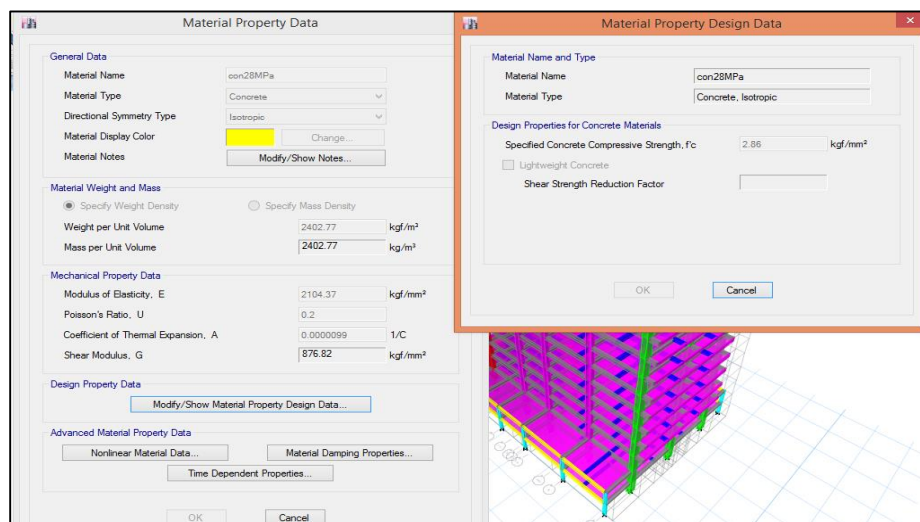


Figura 15. Definición de propiedad concreto de 28Mpa.

Fuente : Elaboracion manual del autor

Para la definición de propiedad concreto de 28Mpa se modificó el módulo de elasticidad del concreto así como su masa por unidad el volumen también su resistencia a la compresión ver *Figura 15*, y así se definió cada una de las propiedades de cada material. Luego se asignó su respectiva sección a cada elemento.

6.3 Creación de los elementos shell para las placas

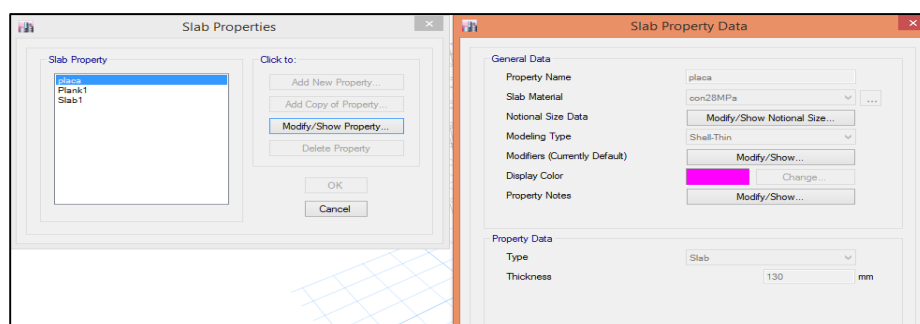


Figura 16. Deficion de propiedades para la placa.

Fuente : Elaboracion manual del autor

Se entiende que al asignarse una carga se va distribuyendo de la losa a los nervios estos a las vigas secundarias y estas a las vigas principales y las vigas principales a las columnas y las columnas a la cimentación y estas al terreno. Ver. *Figura 16*.

6.4 Definición de los diafragmas rígidos para cada piso

Se puede observar los diafragmas rígidos Story 2 $Z=5.8$.

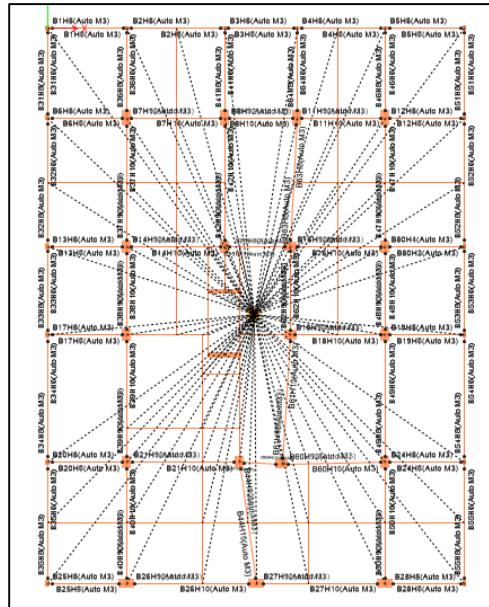


Figura 17. Diafragmas rígidos Story 2 $Z=5.8$.

Fuente : Elaboracion manual del autor

La definición de los diafragmas de rigidez es importantes ya que de esta manera le indicamos al software que los elementos deben trabajar en conjunto. En los diafragmas de rigidez se puede observar el centro de masa de cada piso ver *Figura 17*.

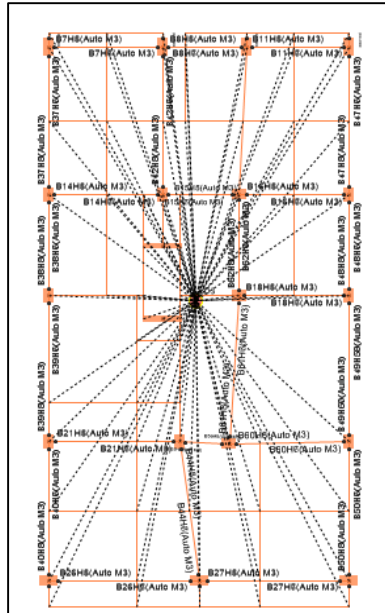


Figura 18. Diafragma rígido Story 3 Z=9.3
Fuente : Elaboracion manual del autor

Se puede observar que el centro de masa de los pisos inferiores Story 1 y Story 2 coincide que son pisos similares, pero su centro de masa no coincide con el centro de masa de los demás pisos teniendo lugar una ligera variación el punto ver. *Figura 18*.

6.5 Asignación la carga muerta y carga viva

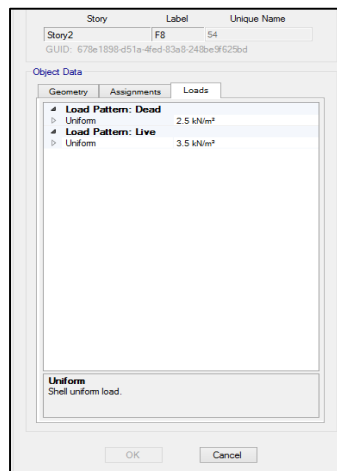


Figura 19. Carga muerta y carga viva.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Se le asignó la carga viva y la carga muerta a cada uno de los pisos. Se asignó una carga distribuida para todo el área según lo mínimo especificado por la norma NSR10, ver *Figura 19*.

6.6 Definición del espectro de respuesta

Tabla 1 Espectro de respuesta construido para la ciudad de barranquilla.

Response Spectrum Function - Colombia NSR-10		
	Periodo seg	Aceleración Sa
RS	0	0.40
RS	0.1	0.40
RS	0.2	0.40
RS	0.3	0.40
RS	0.4	0.40
RS	0.5	0.40
RS	0.6	0.40
RS	0.7	0.40
RS	0.8	0.36
RS	0.9	0.32
RS	1	0.29
RS	1.2	0.24
RS	1.5	0.19
RS	1.7	0.17
RS	2	0.14
RS	2.5	0.12
RS	3	0.10
RS	3.5	0.08
RS	4	0.07
RS	5	0.06
RS	8	0.03
RS	11	0.01
RS	15	0.01

Fuente : Elaboracion manual del autor

El espectro de respuesta depende de cada lugar, según la norma NSR10 para barranquilla presenta una amenaza sísmica baja, y ver *Figura 20*, es decir que dependiendo de la ubicación

geográfica se va a tener unas características sismológicas específicas, el espectro de respuesta representa un rango de características sísmicas para una determinada zona.

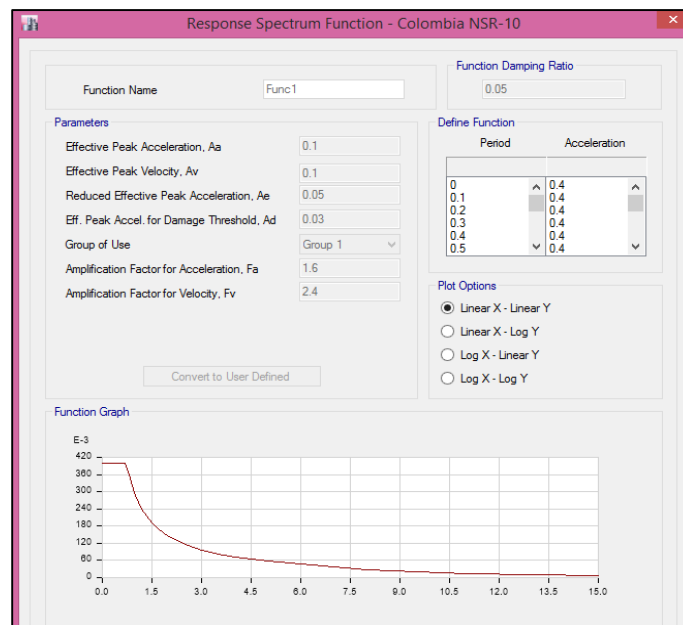


Figura 20. Espectro de respuesta Barranquilla.

Fuente : Elaboracion manual del autor

6.7 Definición del sismo en x y el sismo en y

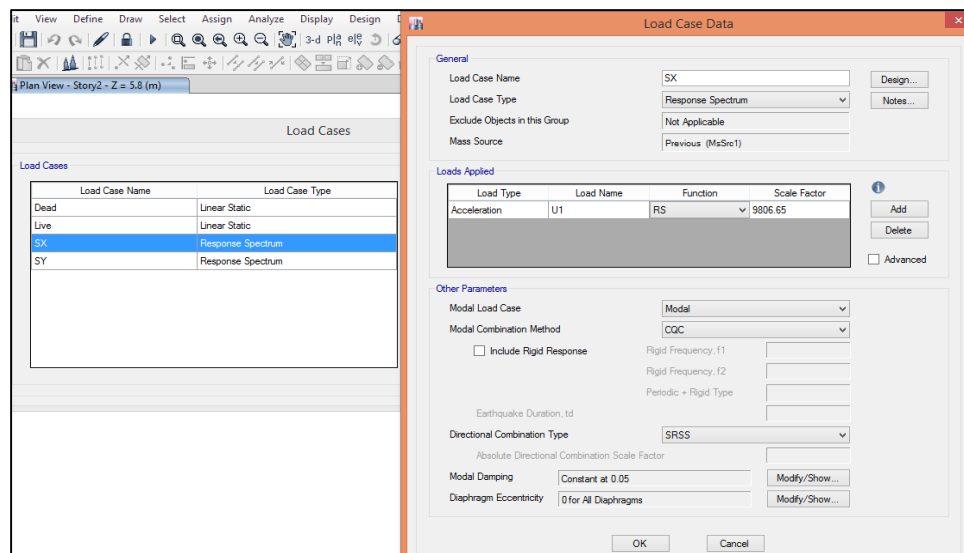


Figura 21. Definición del sismo X.

Fuente : Elaboracion manual del autor

El sismo se introduce como una función del espectro de diseño en la dirección correspondiente, ver *Figura 21*.

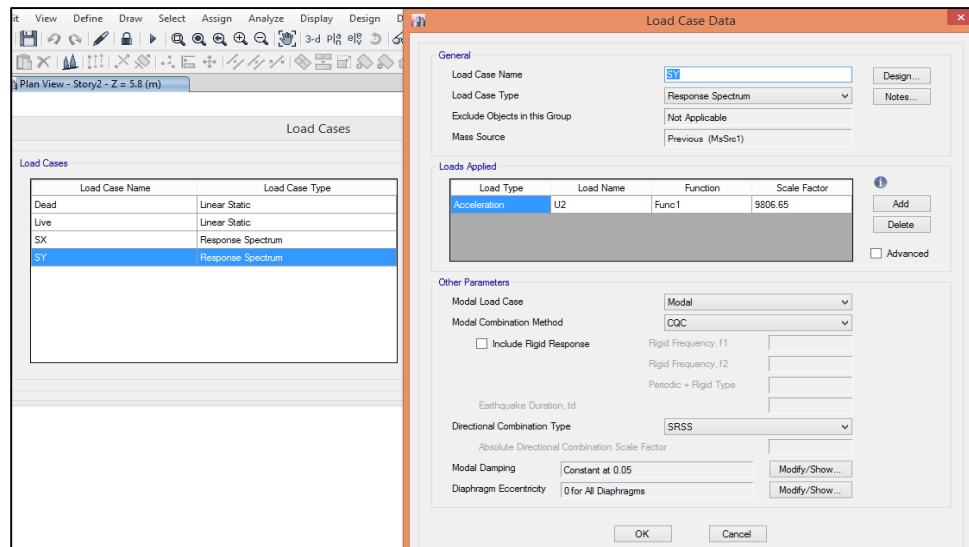


Figura 22. Definición del sismo Y.

Fuente : Elaboracion manual del autor

De igual manera se introdujo el sismo en la dirección Y como una función del espectro de diseño construido para la ciudad de barranquilla, ver *Figura 22*.

6.8 Definición de las combinaciones de cargas

Las combinaciones básicas establecidas por la norma. Combinación 1 ver *Figura 23*.

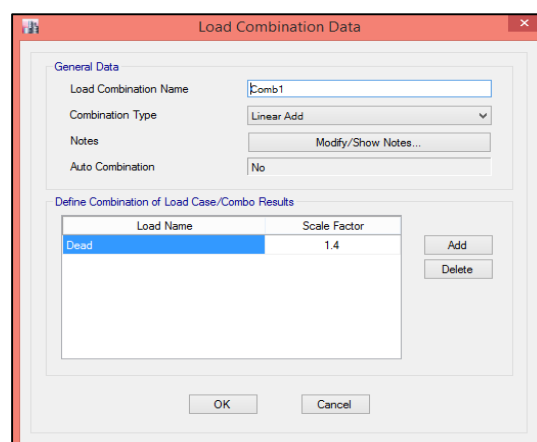


Figura 23. Combinación 1 NSR 10.

Fuente : Elaboracion manual del autor

Las combinaciones básicas establecidas por la norma título B.2.4.2. Combinación 2 ver *Figura 24*. Esta es una de las combinaciones más exigentes, se puede observar en el diagrama de interacción de la columna, ver *Figura 48*.

The screenshot shows a software window titled 'Load Combination Data'. It has two main sections. The 'General Data' section contains: 'Load Combination Name' set to 'Comb2', 'Combination Type' set to 'Linear Add', a 'Notes' field with a 'Modify/Show Notes...' button, and 'Auto Combination' set to 'No'. The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section features a table with two columns: 'Load Name' and 'Scale Factor'. The table contains two rows: 'Dead' with a scale factor of 1.2, and 'Live' with a scale factor of 1.6. To the right of the table are 'Add' and 'Delete' buttons. At the bottom of the window are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1.6

Figura 24. Combinación 2 NSR 10.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Las combinaciones básicas establecidas por la norma. Combinación 3 ver *Figura 25*.

The screenshot shows a software window titled 'Load Combination Data'. It has two main sections. The 'General Data' section contains: 'Load Combination Name' set to 'Comb3', 'Combination Type' set to 'Linear Add', a 'Notes' field with a 'Modify/Show Notes...' button, and 'Auto Combination' set to 'No'. The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section features a table with two columns: 'Load Name' and 'Scale Factor'. The table contains four rows: 'Dead' with a scale factor of 1.2, 'Live' with a scale factor of 1, 'SX' with a scale factor of 0.22, and 'SY' with a scale factor of 0.066. To the right of the table are 'Add' and 'Delete' buttons. At the bottom of the window are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
SX	0.22
SY	0.066

Figura 25. Combinación 3 NSR 10.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Las combinaciones básicas establecidas por la norma. Combinación 4. ver *Figura 26*

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
SX	0.066
SY	0.22

Figura 26. Combinación 4 NSR 10.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Las combinaciones básicas establecidas por la norma. Combinación 5 ver *Figura 27*.

Load Name	Scale Factor
Dead	0.9
SX	0.22
SY	0.066

Figura 27. Combinación 5 NSR 10.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Las combinaciones básicas establecidas por la norma. Combinación 6 ver *Figura 28*.

Load Name	Scale Factor
Dead	0.9
SX	0.066
SY	0.22

Figura 28. Combinación 6 NSR 10.
Fuente : Elaboracion manual del autor

6.9 Definición del caso modal

En el análisis modal se determina la respuesta vibratoria del edificio expresada en movimientos armónicos o modos de vibración en el caso de estudio 3 modos de vibración para cada piso, 45 modos de vibración en total, ver *Figura 29*.

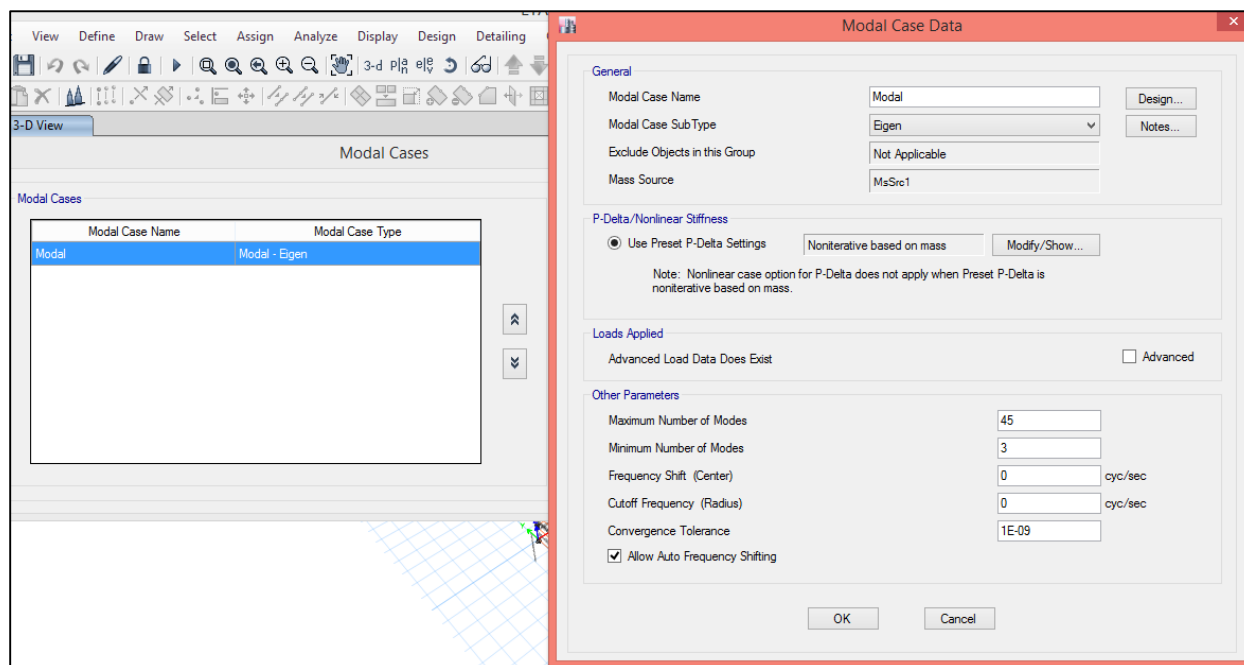


Figura 29. Definición del caso modal.

Fuente : Elaboracion manual del autor

Se puede observar los modos de vibración del edificio, visualmente como los elementos están siendo exigidos, su patrón de desplazamiento. También como va disminuyendo el periodo a medida que se va avanzando en los modos de vibración. Ver *Figura 30*, hasta la *Figura 39*.

Modo 1 Periodo 3.13

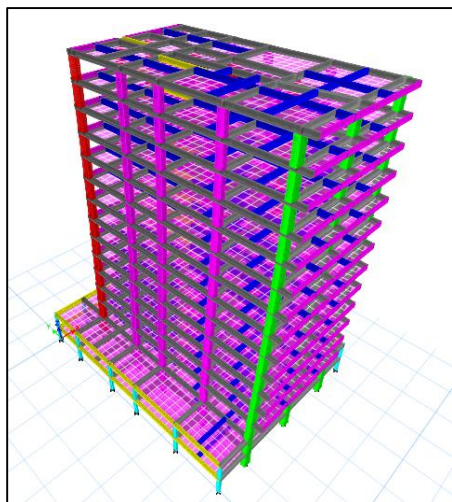


Figura 30. Modo 1 Periodo 3.130.

El primer modo de vibración es el modo más importante y el período de vibración también es el mayor.

Modo 2 Periodo 2.96

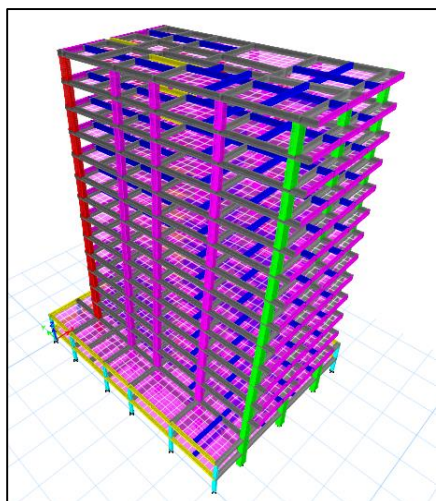


Figura 31. Modo 2 Periodo 2.960.

Modo 3 Periodo 2.565

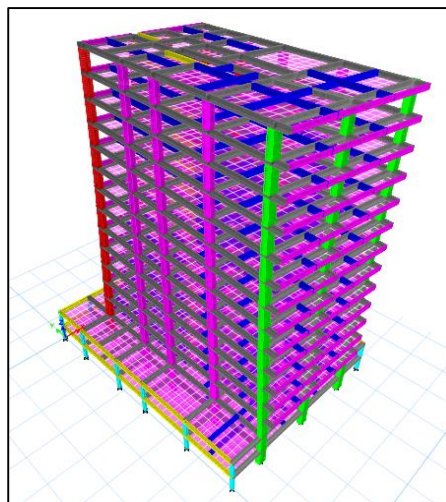


Figura 32. Modo 3 Periodo 2.565.

Hasta el tercer modo el periodo es alto después del tercer modo el periodo está por debajo de uno.

Modo 4 Periodo 0.945

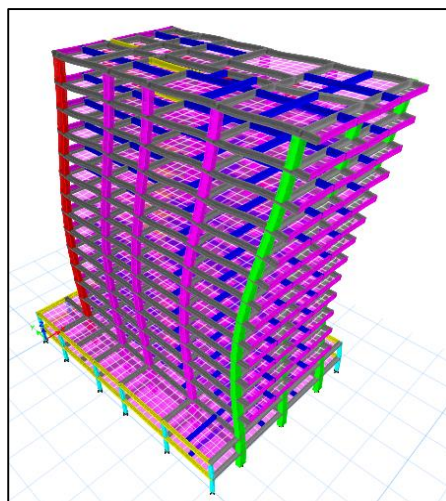


Figura 33. Modo 4 Periodo 0.945.

Modo 5. Periodo 0.861

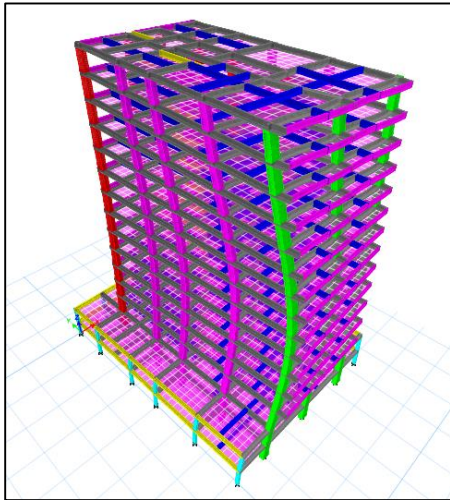


Figura 34. Modo 5 Periodo 0.861.

Modo 7. Periodo 0.506

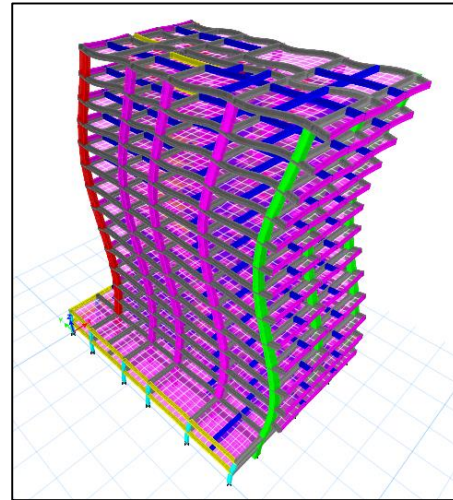


Figura 36. Modo 7 Periodo 0.506.

Modo 6 Periodo 0.783

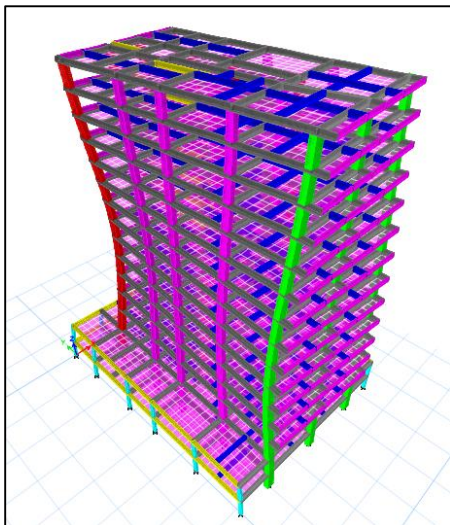


Figura 35. Modo 6 Periodo 0.783.

Modo 8 Periodo 0.447

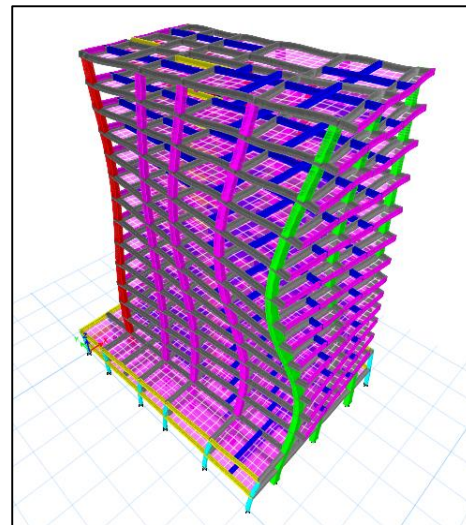


Figura 37. Modo 8 Periodo 0.447.

Modo 9 Periodo 0.410

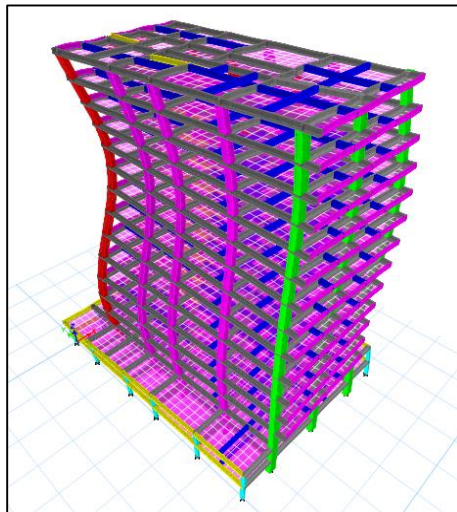


Figura 38. Modo 9 Periodo 0.410.

Modo 10 Periodo 0.321

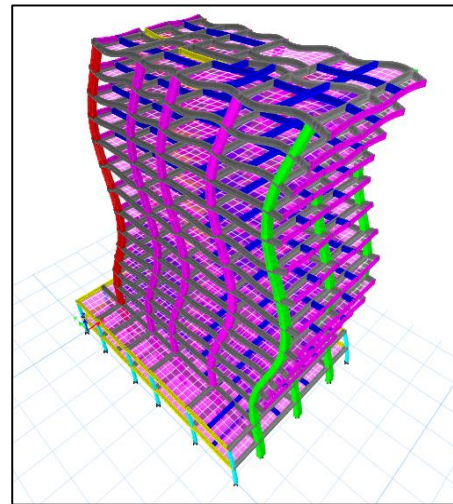


Figura 39. Modo 10 Periodo 0.321.

Fuente : Elaboracion manual del autor

6.10 Diseño del acero de refuerzo con Etabs

Se compara el resultado obtenido de la modelación con los datos de la memoria de cálculo. Se observó la similitud de los datos de las memorias de cálculos con los datos arrojados y analizados por la modelación nueva, por lo cual se puede inferir que el modelo realizado (nuevo) es muy similar al realizado por el calculista estructural, el modelo realizado por el calculista estructural no fue posible conseguir por esto se debió realizar una modelación a partir de los datos conseguidos y realizarlo muy cercano al análisis real, la diferencia en los datos entre las memorias y el modelo nuevo puede deberse a diferentes criterios en la asignación de las cargas estructurales.

Algunos elementos son muy similares las diferencias son muy pequeñas.

La norma NSR10 establece un conjunto de combinaciones para las cuales se debe chequear el diseño estructural que es automatizado con la ayuda del Etabs ver *Figura 40*. Se utilizaron 6 teniendo en cuenta que algunos parámetro deben ser calculados ajustándose al tipo de estructura a diseñar, ver sección 6.8 Definición de las combinaciones de cargas.

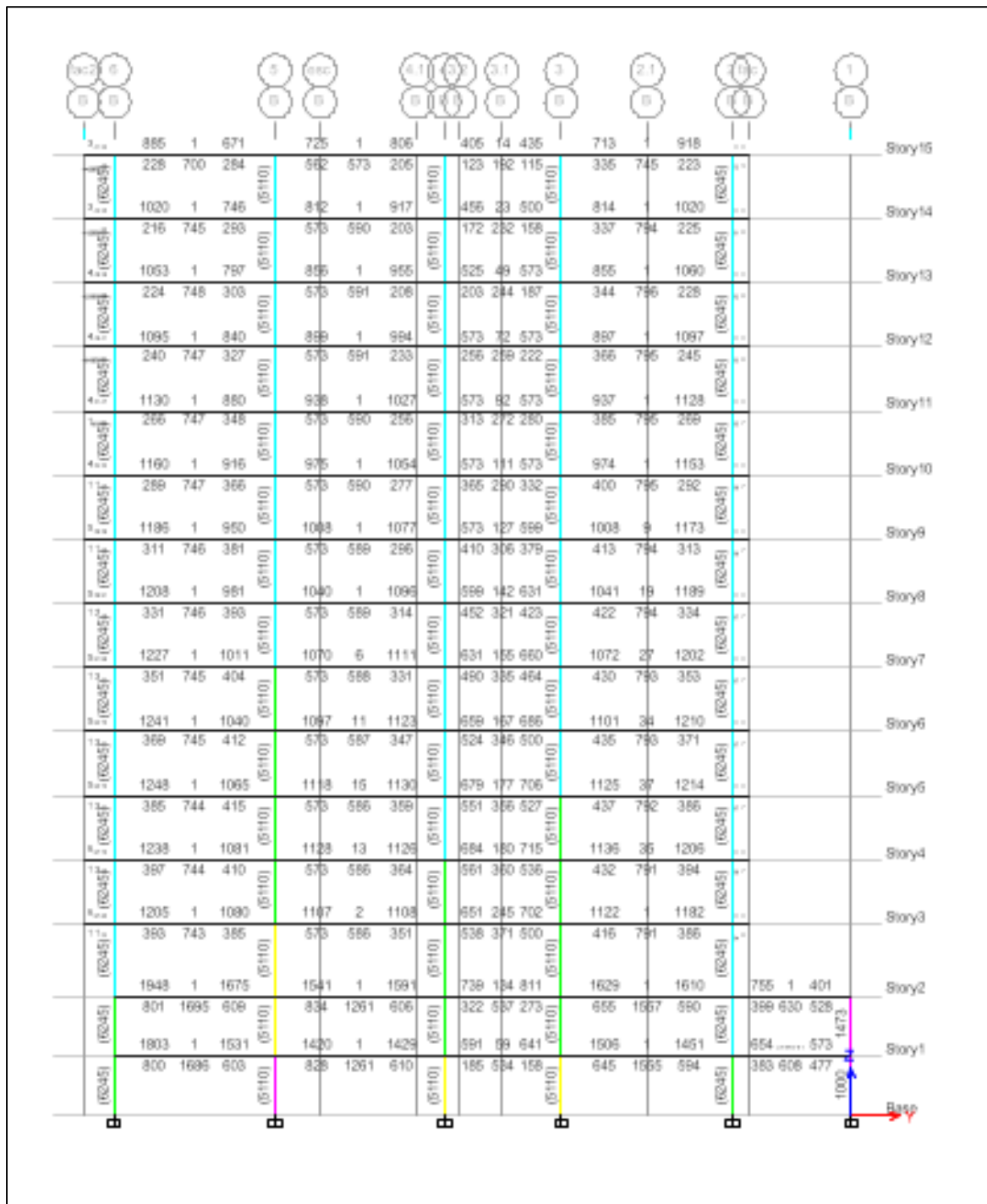


Figura 40. Diseño de secciones en etabs, acero de refuerzo eje B.

Fuente : Elaboracion manual del autor

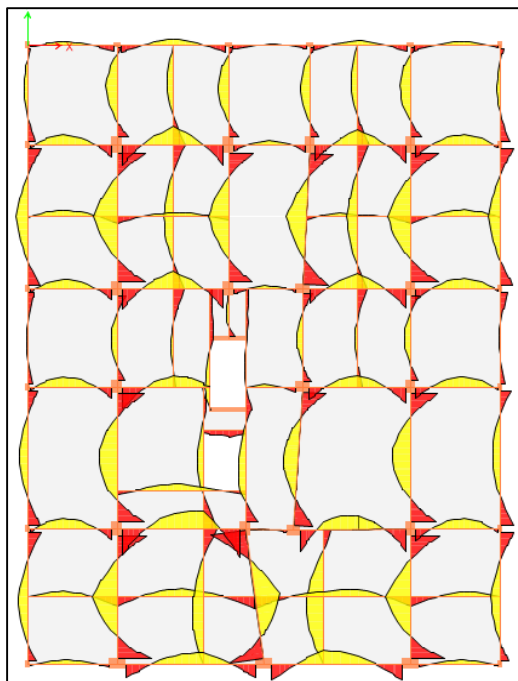


Figura 42. Diagrama de Momento Combinación 2. Story 2 Z=5.8m
Fuente : Elaboracion manual del autor

Diagrama de Momento Combinación 2. Story 3 Z=9.3m

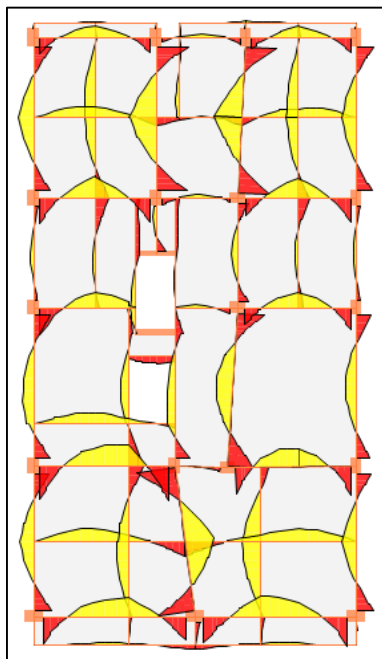


Figura 43. Diagrama de Momento Combinación 2. Story 3 Z=9.3m
Fuente : Elaboracion manual del autor

6.11.2 Diagrama de interacción. En el diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 15, ver *Figura 44*, se puede observar la combinación de carga 3, ver *Figura 24*, de la NSR 10, la cual nos podemos dar cuenta que se encuentra dentro de la curva y no está cerca del límite de la curva, lo cual indica que para esta combinación de carga la sección de la columna puede trabajar de manera adecuada y soportara las cargas impuestas ver *Figura 45*.

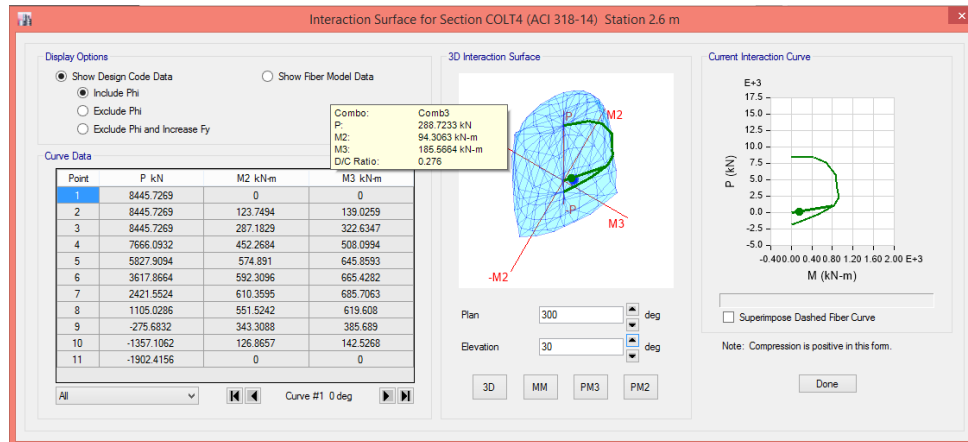


Figura 44. Diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 15.

Fuente : Elaboracion manual del autor

Ubicación geográfica de la columna B3, en el edificio, se puede apreciar en amarillo en la figura a continuación.

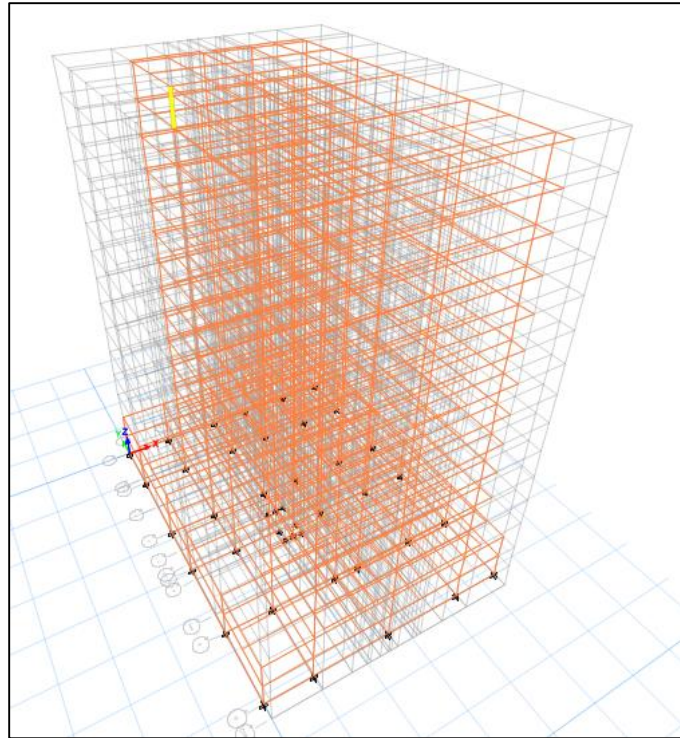


Figura 45. Columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 15.
Fuente : Elaboracion manual del autor

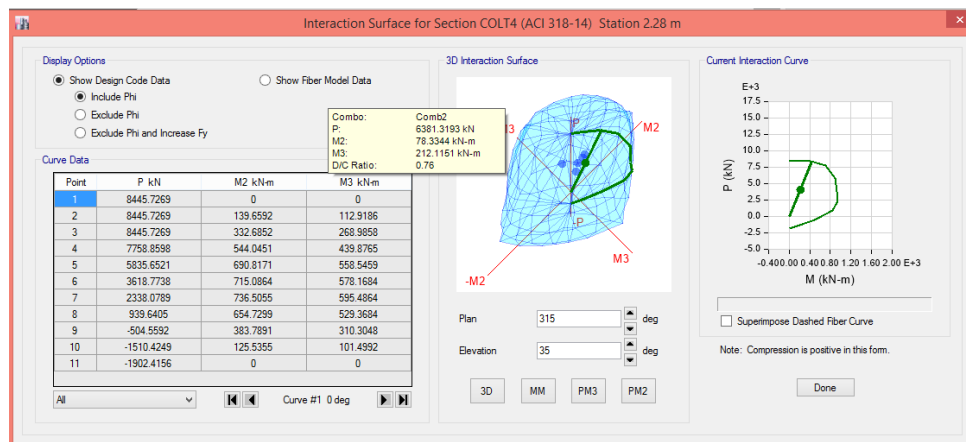


Figura 46. Diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 1 Comb2.
Fuente : Elaboracion manual del autor

En el diagrama de interacción de la columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 1, ver *Figura 46*, se puede observar la combinación de carga 2, ver *Figura 24*, de la NSR 10, la cual nos podemos dar cuenta que se encuentra dentro de la curva y no está cerca del límite de la curva, pero se encuentra más cerca que en diagrama de la misma columna en el Story 15 lo cual indica

que para esta combinación de carga la sección de la columna puede trabajar de manera adecuada y soportara las cargas impuestas ver *Figura 47*.

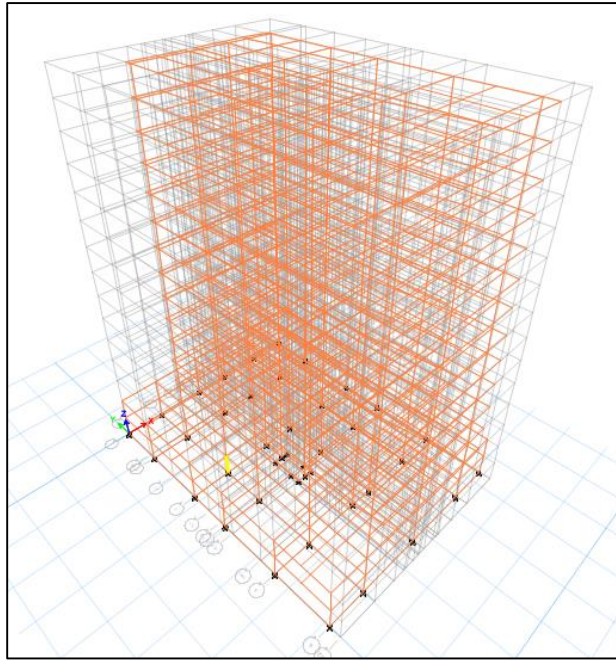


Figura 47. Columna B3 tipo 4 de 60x40cm Story 1
Fuente : Elaboracion manual del autor

Al analizar la columna C3. Tiene un área de acero de refuerzo de 5112mm², tiene una cuantía de 1.065%. El modelo solicita un área de 5110mm², el chequeo muestra que está cumpliendo con las combinaciones como se puede observar en el diagrama de interacciones ver *Figura 48*.

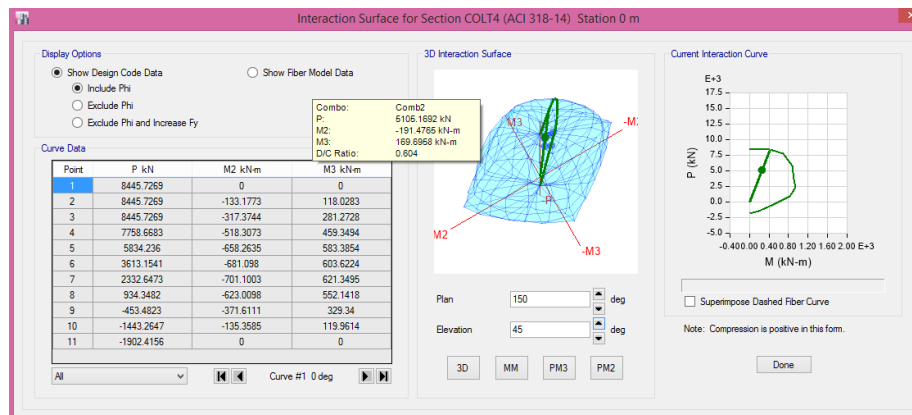


Figura 48. Diagrama de interacción de la columna C3 tipo 4 de 80x60cm Story 5.
Fuente : Elaboracion manual del autor

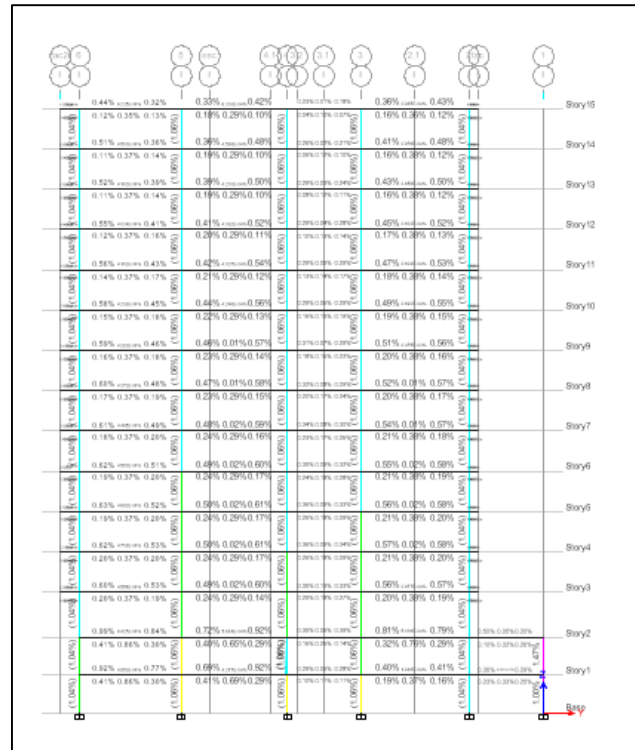


Figura 49. Diseño de secciones de concreto reforzado en etabs, acero de refuerzo eje I.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Los elementos estructurales están cumpliendo el chequeo, era lo esperado, las cuantías de acero en columnas en la mayoría de elementos está cercana al 1%, salvo en algunos elementos que está aproximadamente al 1.6%. Para los elementos vigas el acero requerido por la modelación es muy similar al acero de los despieces. Se puede observar en amarillo y verde los elementos que están siendo más exigidos ver *Figura 49*.

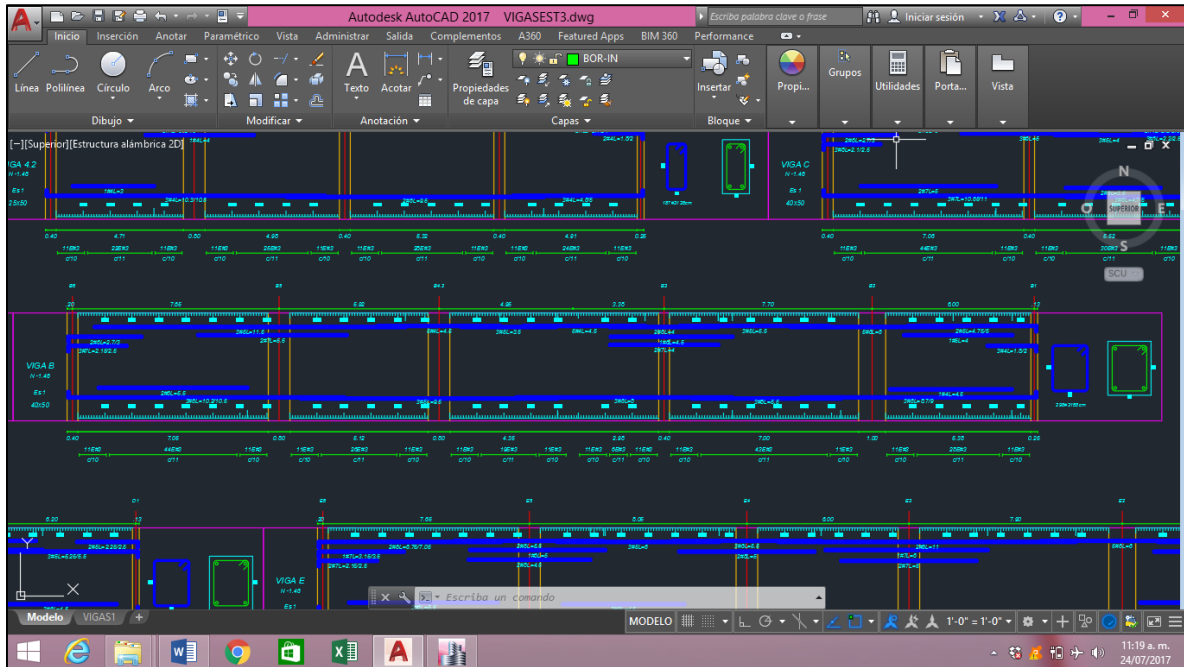


Figura 50. Viga B entre eje 1 y 6.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Área en mm² de acero de refuerzo viga B ver Figura 48 entre eje 1-6.

Eje6	Eje5	Eje4	Eje3	Eje2	Eje1
1729 597 1371	1371 597 645	645 1626 1626	1626 597 1420	1420 597 785	
852 1420 852	597 597 597	852 852 852	852 1530 852	852 981 852	

Al analizar nodo a nodo, en **amarillo** se puede observar que tienen menor área de refuerzo que en el despiece estructural comparada con la solicitada por el modelo nuevo explico. El elemento viga B entre el eje 6 y 5 *Figura 50* en la parte de arriba al lado del eje 6 tiene un área de acero de 1729mm² en los planos de despiece estructural. Mientras que en la modelación se está solicitando 1803mm², ver *Figura 51*. Por lo tanto se podría esperar que en situaciones como estas sea en los elementos en los que el reforzamiento de acero estructural este un poco por debajo de lo solicitado por el modelo en donde se empiece la formación de las rotulas plásticas.

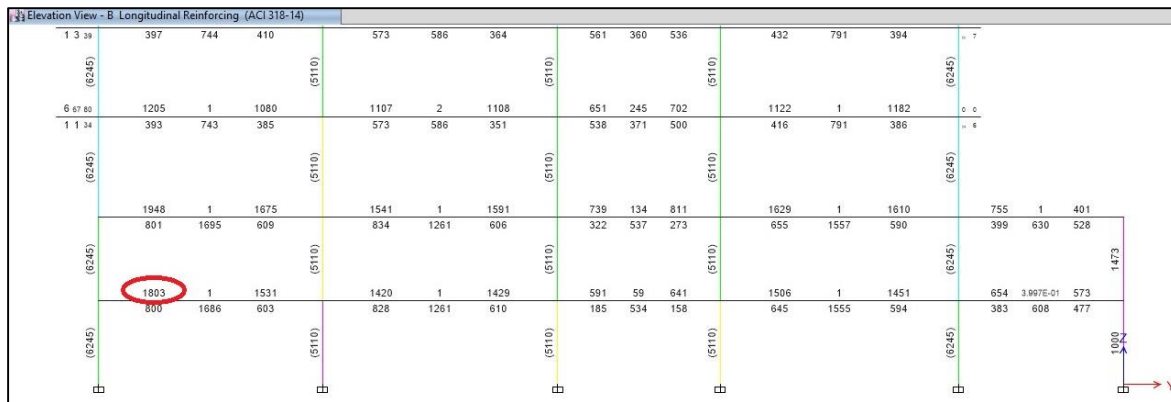


Figura 51. Diseño de secciones de concreto reforzado, acero de refuerzo (mm²), viga B entre el eje 6 y 5 acero de refuerzo solicitado por el modelo 1803mm².

Fuente : Elaboracion manual del autor

Viga B entre eje 1 y 6, cargando nodos en Etabs, se puede observar una diferencia entre lo que el modelo requiere en acero y lo que se tiene de los despieces los planos estructurales, por lo tanto con el método modal no podemos analizar más allá de las combinaciones de carga, las solicitaciones para cada elemento, y cuáles son las diferencias con los planos estructurales e interpretar porque estarían ocurriendo, sin embargo mediante la aplicación del pushover se puede realizar un mejor análisis de cada nodo y determinar cuáles deben ser reforzados, ya que este nos muestra la formación de las rotulas plásticas al presentarse el sismo de diseño y nos indica su nivel de desempeño.

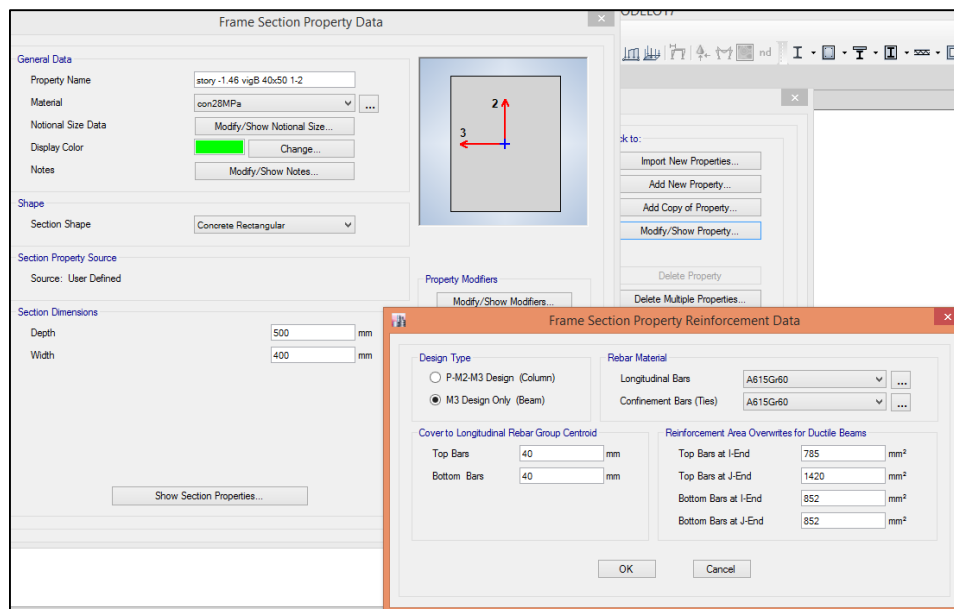


Figura 52. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 1 y 2 story 1.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Para introducir el acero de refuerzo de cada viga, se descompuso en varias secciones, ver *Figura 52*, hasta la *Figura 56*. A la derecha en la parte inferior se puede observar el refuerzo en mm² en la parte inicial (I) y en la parte final (J), así como en la parte superior de la viga (Top) y en la parte inferior (Bottom), este proceso es lento debido a la gran cantidad de elementos existentes en el modelo.

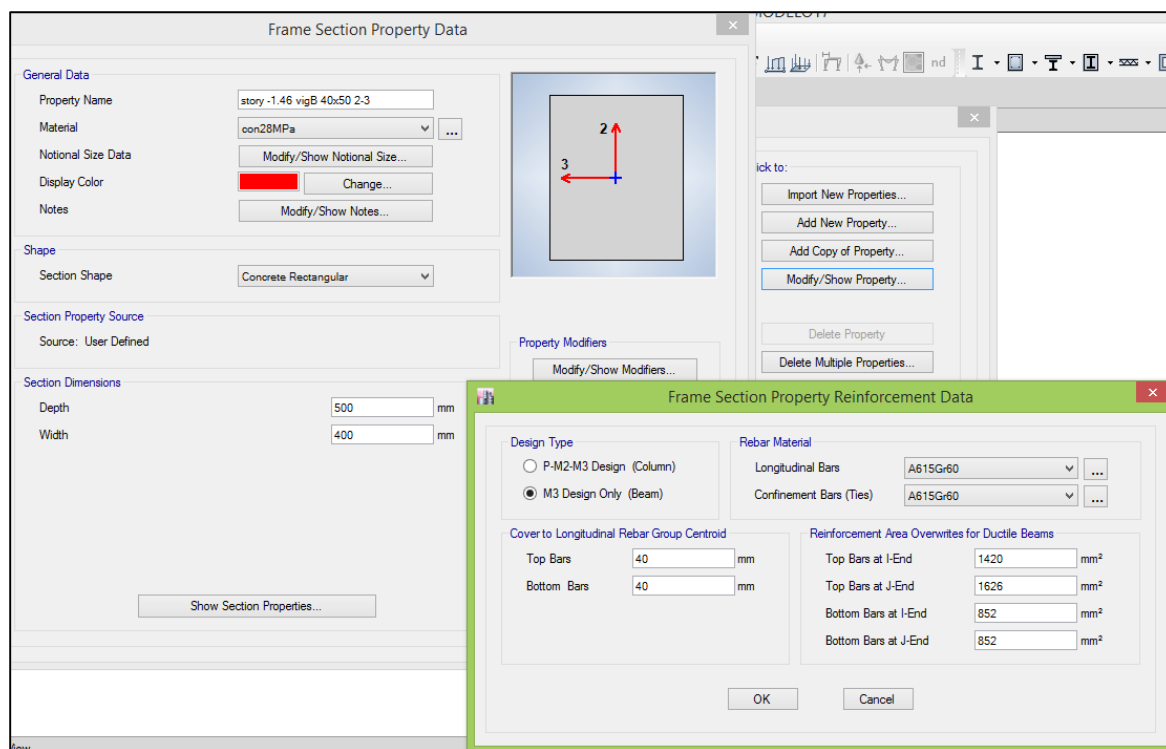


Figura 53. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 2 y 3 story 1
Fuente : Elaboracion manual del autor

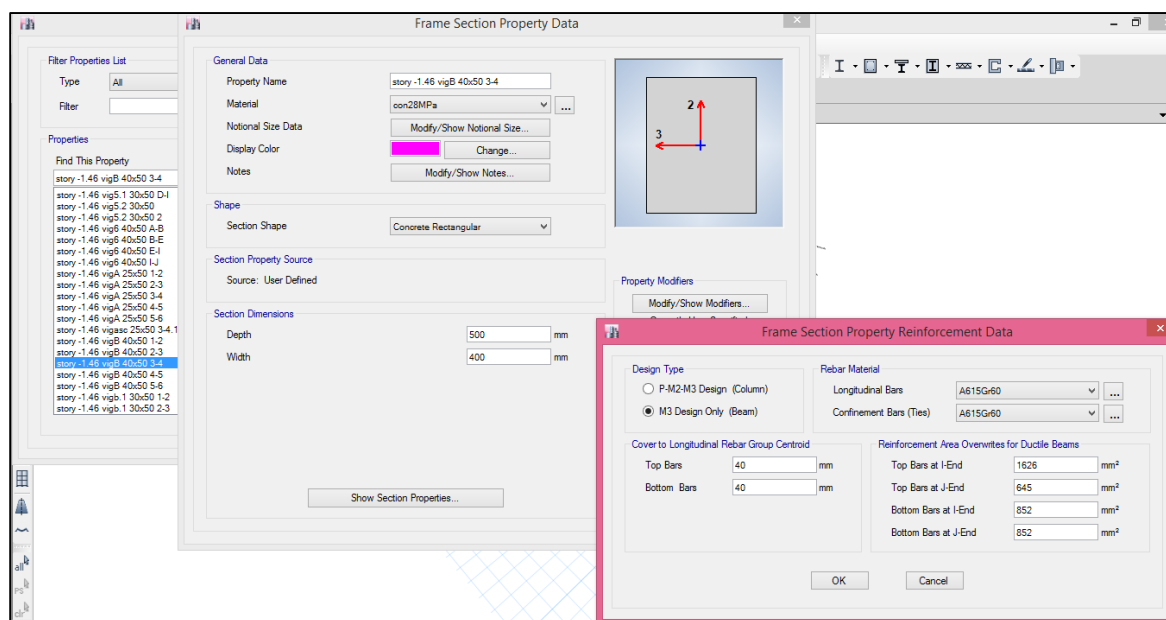


Figura 54. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 3 y 4 story 1
Fuente : Elaboracion manual del autor

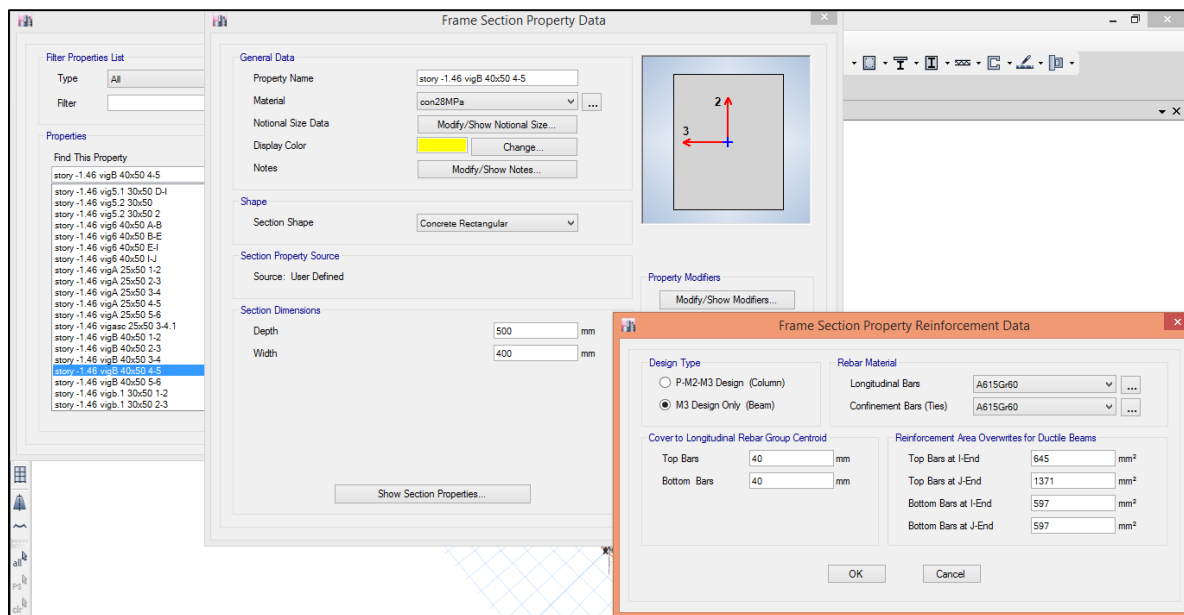


Figura 55. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 3 y 4 story 1
Fuente : Elaboracion manual del autor

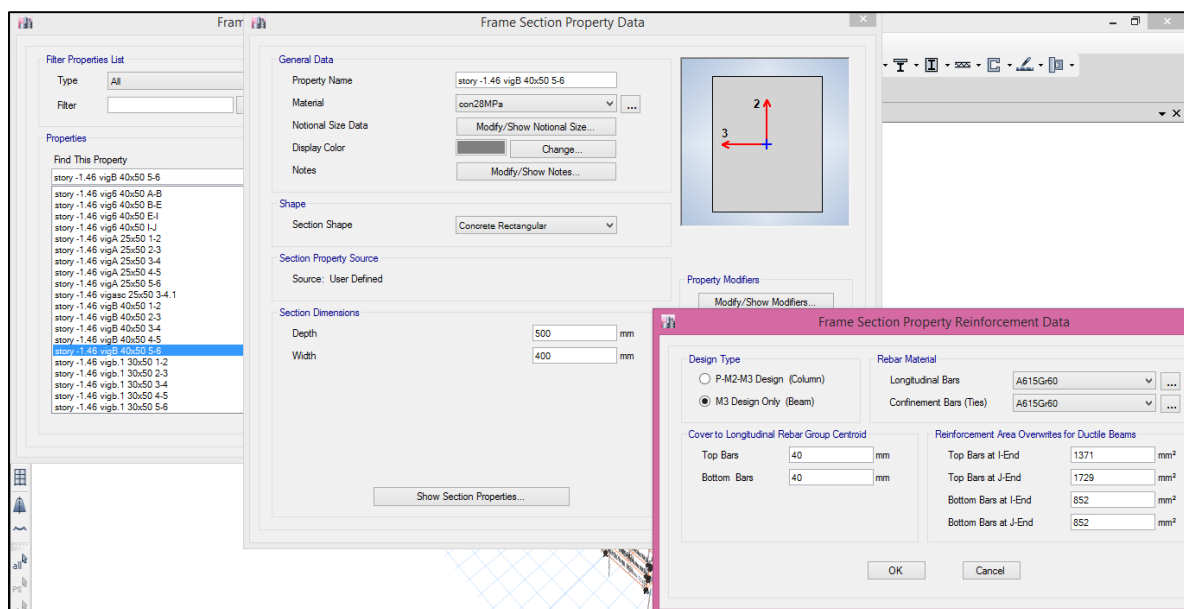


Figura 56. Introduccion del acero de refuerzo Viga B de 50x40cm entre los ejes 5 y 6 story 1.
Fuente : Elaboracion manual del autor

Tabla 2 Secciones y material de las columnas

Name	Material	Shape	t3 mm	t2 mm	Area cm ²
COLT1	con35MPa	Concrete Rectangular	2200	300	6600
COLT2	con35MPa	Concrete Rectangular	600	1000	6000
COLT2R	con35MPa	Concrete Rectangular	1000	600	6000
COLT3R	con35MPa	Concrete Rectangular	800	600	4800
COLT4	con35MPa	Concrete Rectangular	600	800	4800
COLT5	con35MPa	Concrete Rectangular	250	400	1000
COLT5R	con35MPa	Concrete Rectangular	400	250	1000

Fuente : Elaboracion manual del autor

Todas las columnas fueron construidas con concreto de 35MPa.

Para vigas y losas se construyó con concreto de 28MPa.

Se puede observar en la gráfica la aplicación del sismo X. ver *Figura 57*.

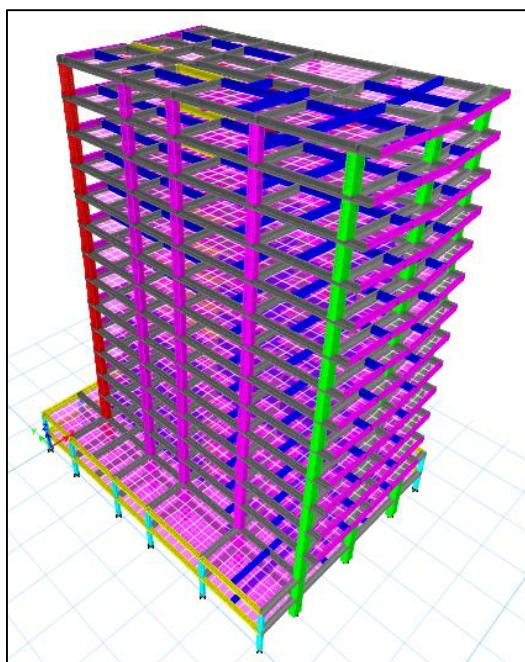


Figura 57. Sismo X.

Fuente : Elaboracion manual del autor

La deformación resultante de la aplicación del sismo en la dirección X, se puede observar para este caso las derivas de los puntos del nivel superior, y la deformación en conjunto de los

elementos, producto del movimiento de la interacción con el sismo, podemos ver que los elementos tanto las vigas, columna y placas están trabajando en grupo.

Se observa en la Figura la aplicación del sismo Y. ver *Figura 58*.

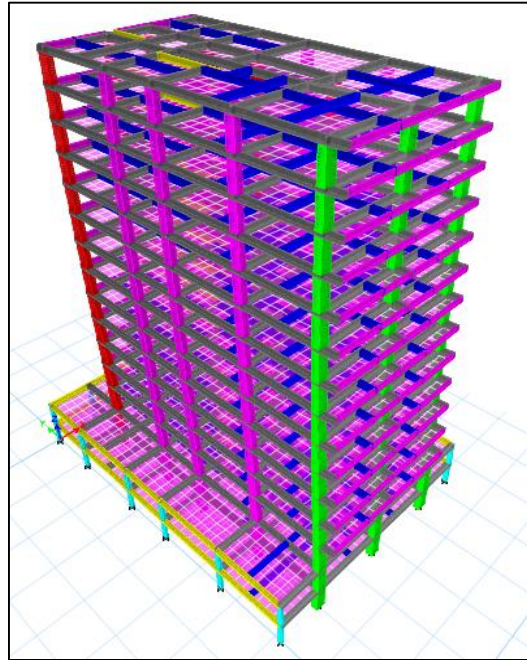


Figura 58. Sismo Y.

Fuente: Elaboracion manual del autor

Al aplicar el sismo en la dirección Y, el edificio muestra un mejor comportamiento sísmico esto se evidencia en sus derivas que son menores comparadas con las del sentido X, debido a que presenta una mayor cantidad de elementos estructurales en este sentido por lo cual su deformación es menor en comparación con la deformación en la dirección X.

Deformación producida por la carga muerta. ver *Figura 59*.

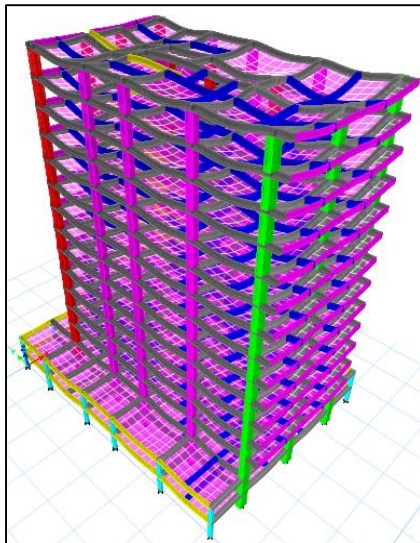


Figura 59. DEAD.

Fuente: Elaboracion manual del autor

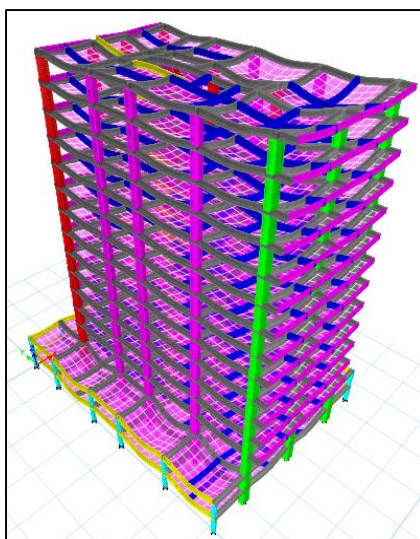


Figura 60. LIVE

Fuente: Elaboracion manual del autor

Se tiene registro de un sismo histórico muy cercano a la ciudad de barranquilla el 22 de mayo de 1834. Con una magnitud de 6.4 en la escala de Richter, una zona de amenaza sísmica baja. En recuadro amarillo se puede ver el epicentro ver *Figura 61*.



Figura 61. Sismo histórico Santa Marta, Magdalena 22 de mayo de 1834. (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, *sish.sgc.gov.co*, 1834)

Fuente : Instituto de Sismologia Nacional

Se tiene otro registro Bahía solano, Costa pacífica chocoana 26 de septiembre 1970. Con una magnitud de 6.6 en la escala de Richter una zona de amenaza sísmica alta. En recuadro amarillo se puede ver el epicentro. Ver *Figura 62*.



Figura 62. Sismo histórico Bahía solano, Costa pacífica chocoana 26 de septiembre 1970 (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, *sish.sgc.gov.co*, 1970)

Fuente : Instituto de Sismologia Nacional

En el instituto nacional de sismología se puede observar sismos a lo largo de todo el país en unas zonas con una frecuencia más recurrente que en otras sin embargo se suelen presentar sismos en zonas cercanas a la ciudad de barranquilla con una intensidad baja.



Figura 63. Sismicidad diaria 28 de julio de 2017 Red sismológica nacional. (INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA , sismicidad-diaria, 2017)

Fuente: Instituto de Sismología Nacional

Algunas regiones en el país presentan una frecuencia sismológica más baja, hacia los llanos orientales, sin embargo en las otras zonas del país la actividad sísmica es frecuente aunque de baja intensidad, la frecuencia de sismos de baja intensidad en alguna zonas no necesariamente coincide con un nivel de amenaza sísmico alto por lo cual se podría esperar un sismo en la mayoría del territorio colombiano, y que además observar el patrón de registro sísmico diario es muy similar al registro de sismos históricos. *Figura 63.*

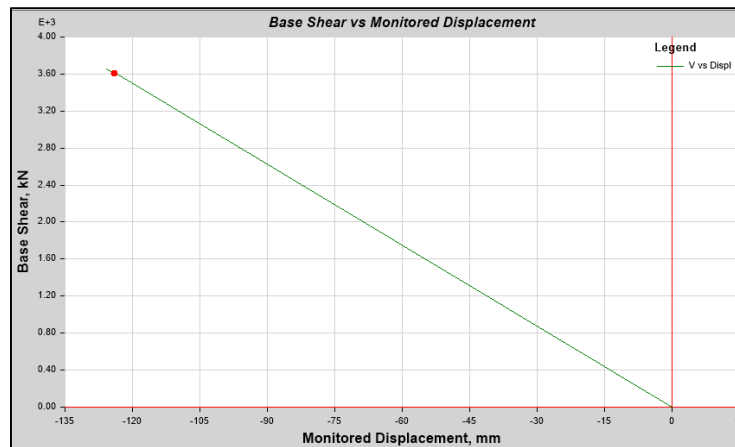


Figura 64. Cortante basal (V) vs Desplazamiento. PUSHX.
Fuente: Elaboracion manual del autor

La curva de capacidad de la estructura muestra un comportamiento elástico y pseudo inelástico. Luego se puede observar el cambio ligero en la pendiente lo cual nos está mostrando que la estructura empieza a entrar en el rango inelástico debido a las fuerzas físicas producidas por el espectro de diseño, ver *Figura 64*.

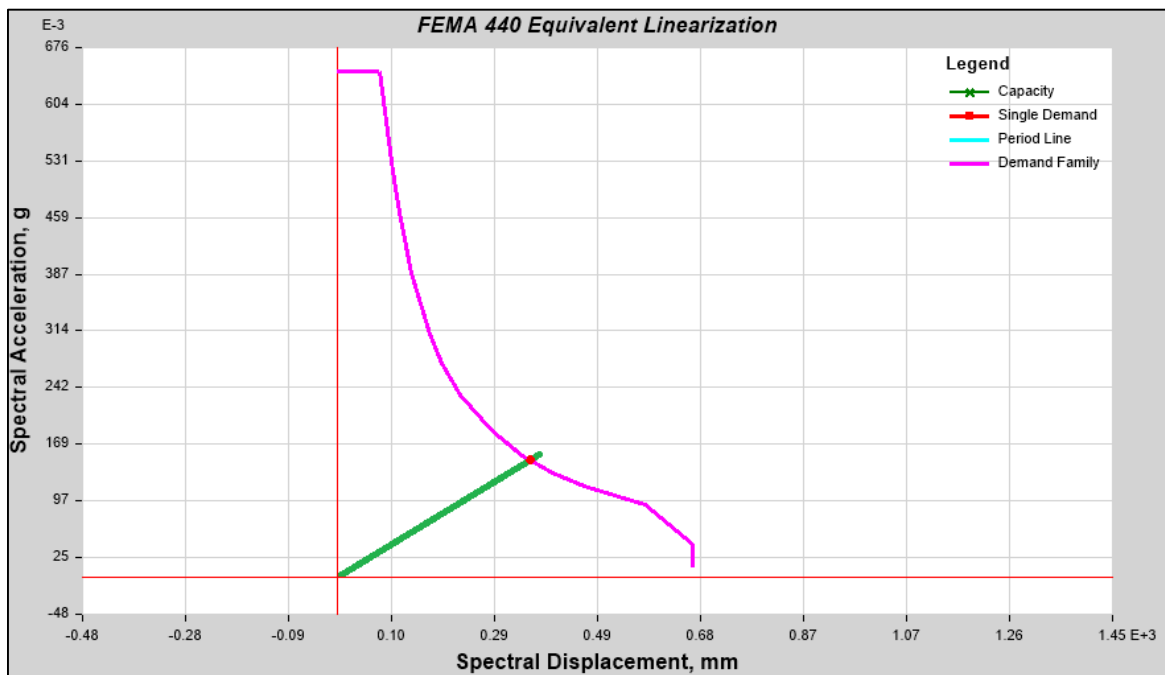


Figura 65. Aceleracion espectral(S_a), g vs Desplazamiento espectral (S_d). PUSHX.
Fuente: Elaboracion manual del autor

El punto de desempeño indica el punto en el cual se igualan la demanda y la capacidad. Representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el terremoto de demanda. La estructura está trabajando en un rango de seguridad muy bueno. *Figura 65.*

6.11.3 Comprobación de derivas

La norma NSR10 pide que se debe analizar la estructura en el rango elástico y con este análisis utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos de la modelación, conseguir las derivas de la estructura las cuales deben estar ser menor al 1% de la altura de entre piso. *Figura 66.*

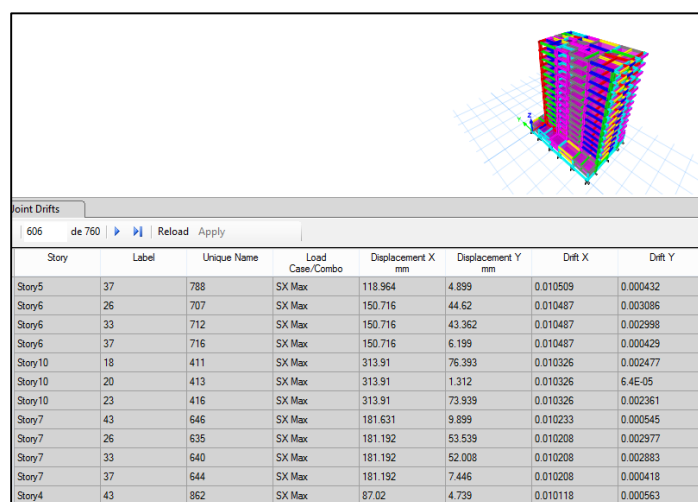


Figura 66. Derivas de los puntos(drift), sismo X, sismo Y, en sentido X y sentido Y.

Fuente: Elaboracion manual del autor

Las derivas están cumpliendo, se está revisando la deriva de entre piso. ver Figura 66. Derivas de los puntos(drift), sismo X, sismo Y, en sentido X y sentido Y.Figura 66

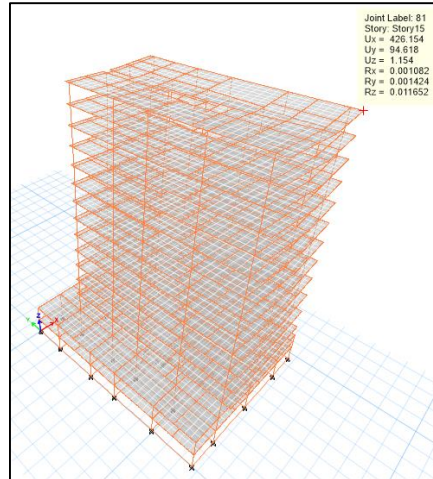


Figura 67. Comprobación de derivas sismo X.
Fuente: Elaboracion manual del autor

Se puede observar en el punto en rojo que tiene una deriva total de 426.15 mm, siendo la deriva máxima permitida 465 mm, correspondiente a al 1% de la altura del edificio. ver *Figura 67*.

Tabla 3 Comprobación de derivas en porcentaje (drift).

Story	Label	Unique Name	Load Case/Combo	Displacement	Displacement	Drift X	Drift Y
				X mm	Y mm		
Story5	76	830	SX Max	148.098	35.234	0.010672	0.003127
Story5	81	831	SX Max	148.098	34.239	0.010672	0.003043
Story6	76	758	SX Max	187.813	44.62	0.010534	0.003086
Story6	81	759	SX Max	187.813	43.362	0.010527	0.002998
Story7	76	686	SX Max	225.897	53.539	0.010527	0.002977
Story7	81	687	SX Max	225.897	52.008	0.010527	0.002883
Story5	18	771	SX Max	143.172	35.234	0.010512	0.003127
Story5	20	773	SX Max	143.172	0.603	0.010509	0.000048
Story5	23	776	SX Max	143.172	34.239	0.010509	0.003043
Story6	18	699	SX Max	181.549	44.62	0.010509	0.003086
Story6	20	701	SX Max	181.549	0.736	0.010487	0.000049
Story6	23	704	SX Max	181.549	43.362	0.010487	0.002998
Story4	76	902	SX Max	107.87	25.632	0.010487	0.003031
Story4	81	903	SX Max	107.87	24.892	0.010527	0.002949
Story7	18	627	SX Max	218.357	53.539	0.010512	0.002977
Story7	20	629	SX Max	218.357	0.87	0.010509	0.000052
Story7	23	632	SX Max	218.357	52.008	0.010509	0.002883
Story4	18	843	SX Max	104.306	25.632	0.010672	0.003031
Story4	20	845	SX Max	104.306	0.463	0.010672	0.000049
Story4	23	848	SX Max	104.306	24.892	0.010534	0.002949
Story8	76	614	SX Max	261.673	61.858	0.010527	0.002833
Story8	81	615	SX Max	261.673	60.037	0.010527	0.002731
Story8	18	555	SX Max	252.942	61.858	0.010534	0.002833
Story8	20	557	SX Max	252.942	1.009	0.010672	0.000056
Story8	23	560	SX Max	252.942	60.037	0.010672	0.002731
Story9	76	542	SX Max	294.713	69.494	0.010534	0.002665
Story9	81	543	SX Max	294.713	67.366	0.010527	0.002555
Story9	18	483	SX Max	284.887	69.494	0.010527	0.002665
Story9	20	485	SX Max	284.887	1.156	0.010527	0.000006
Story9	23	488	SX Max	284.887	67.366	0.010527	0.002555
Story10	76	470	SX Max	324.722	76.393	0.010672	0.002477
Story10	81	471	SX Max	324.722	73.939	0.010672	0.002361
Story5	43	790	SX Max	119.249	6.525	0.010534	0.000581
Story3	18	56	SX Max	66.755	16.276	0.010527	0.00261
Story3	20	58	SX Max	66.755	0.316	0.010527	0.000048
Story3	23	61	SX Max	66.755	15.788	0.010527	0.002533
Story6	43	718	SX Max	151.08	8.262	0.010512	0.000571
Story5	26	779	SX Max	118.964	35.234	0.010509	0.003127

Story5	33	784	SX Max	118.964	34.239	0.010509	0.003043
Story5	37	788	SX Max	118.964	4.899	0.010509	0.000432
Story6	26	707	SX Max	150.716	44.62	0.010487	0.003086
Story6	33	712	SX Max	150.716	43.362	0.010487	0.002998
Story6	37	716	SX Max	150.716	6.199	0.010487	0.000429
Story10	18	411	SX Max	313.91	76.393	0.010326	0.002477
Story10	20	413	SX Max	313.91	1.312	0.010326	0.000064
Story10	23	416	SX Max	313.91	73.939	0.010326	0.002361
Story7	43	646	SX Max	181.631	9.899	0.010233	0.000545
Story7	26	635	SX Max	181.192	53.539	0.010208	0.002977
Story7	33	640	SX Max	181.192	52.008	0.010208	0.002883
Story7	37	644	SX Max	181.192	7.446	0.010208	0.000418
Story4	43	862	SX Max	87.02	4.739	0.010118	0.000563
Story4	26	851	SX Max	86.814	25.632	0.010093	0.003031
Story4	33	856	SX Max	86.814	24.892	0.010093	0.002949
Story4	37	860	SX Max	86.814	3.573	0.010093	0.00042
Story8	43	574	SX Max	210.362	11.404	0.009796	0.000511
Story11	76	398	SX Max	351.497	82.507	0.009795	0.002265
Story11	81	399	SX Max	351.497	79.713	0.009795	0.002146
Story8	26	563	SX Max	209.852	61.858	0.009773	0.002833
Story8	33	568	SX Max	209.852	60.037	0.009773	0.002731
Story8	37	572	SX Max	209.852	8.623	0.009773	0.000403
Story11	18	339	SX Max	339.812	82.507	0.00948	0.002265
Story11	20	341	SX Max	339.812	1.477	0.00948	0.000068
Story11	23	344	SX Max	339.812	79.713	0.00948	0.002146
Story9	43	502	SX Max	236.924	12.76	0.009254	0.000473
Story9	26	491	SX Max	236.349	69.494	0.009232	0.002665
Story9	33	496	SX Max	236.349	67.366	0.009232	0.002555
Story9	37	500	SX Max	236.349	9.722	0.009232	0.000385

Fuente : Elaboración manual del autor

6.11.4 Asignacion de rotulas plasticas.

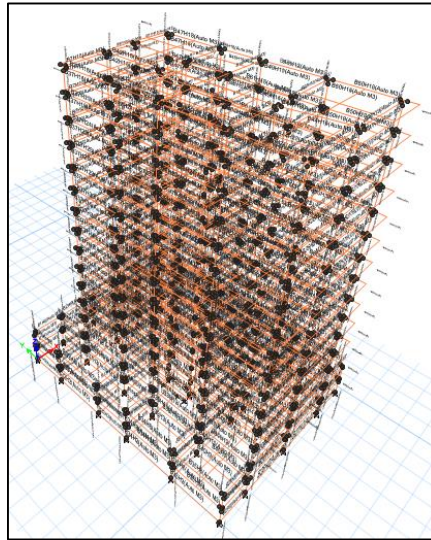


Figura 68. Asignacion de rotulas plasticas
Fuente: Elaboración manual del autor

Otra paso necesario es la asignación de rotulas plásticas a los elementos, para el caso de las vigas se utilizó hinge automáticas, de esta manera el programa genera de manera automática los parámetros necesarios relaciones fuerza deformación y los criterios de aceptación según FEMA 356. Para el caso de las columnas se asignó una hinge automática, el programa genera los parámetros necesarios que difieren de los parámetros de las vigas. Se le asigno rotulas plásticas a la mayoría de elementos estructurales en la unión entre columnas y vigas principales. ver *Figura 68*.

6.11.5 Amenaza sísmica baja Pushx.

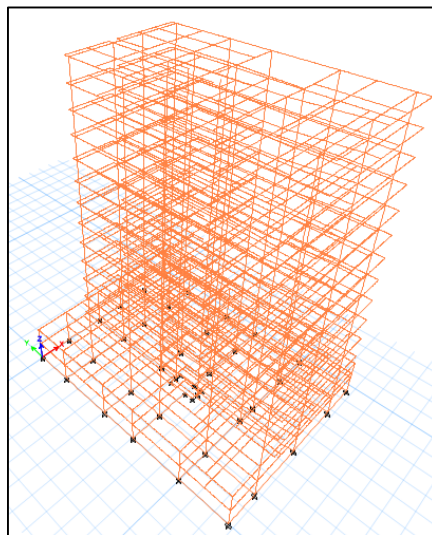


Figura 69. Pushx desplazamiento paso 0 de 4 amenaza sísmica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

En este paso 0 se pudo observar cómo no hay formación de ninguna rotulas plásticas los puntos negros son el empotramiento de las columnas, Se puede ver el estado inicial del edificio nuevo del edificio un sin ninguna deformación. ver *Figura 69*.

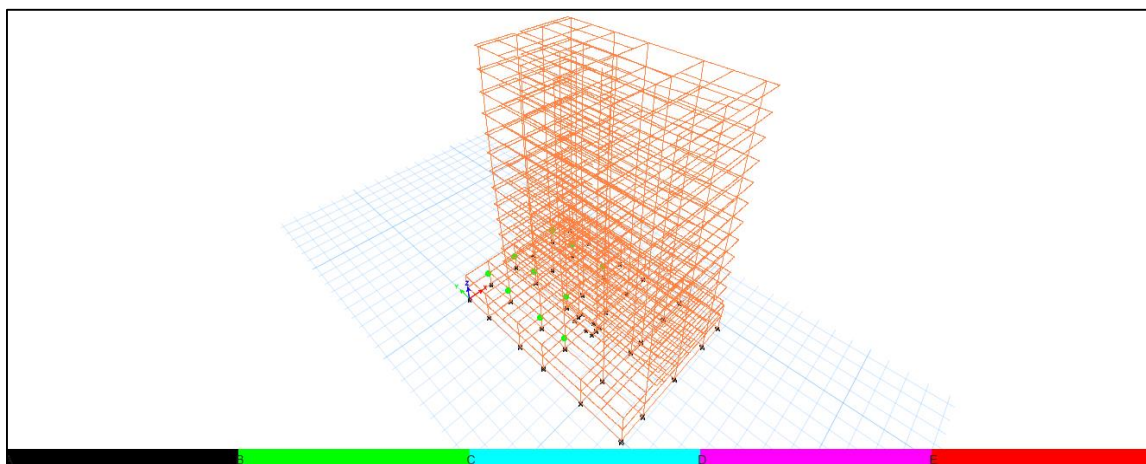


Figura 70. Pushx desplazamiento paso 1 de 4 amenaza sísmica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se empiezan a formar articulaciones plásticas, en el paso 1. Debido a la complejidad de los datos el software no puede generar muchos pasos, se puede ver que se generan rotulas plásticas en las vigas, se puede chequear los puntos en verde en el modelo, la formación de las rotulas se

dan en el Story 1, no hay formación de rótulas plásticas en las columnas lo cual es bueno. ver *Figura 70*.

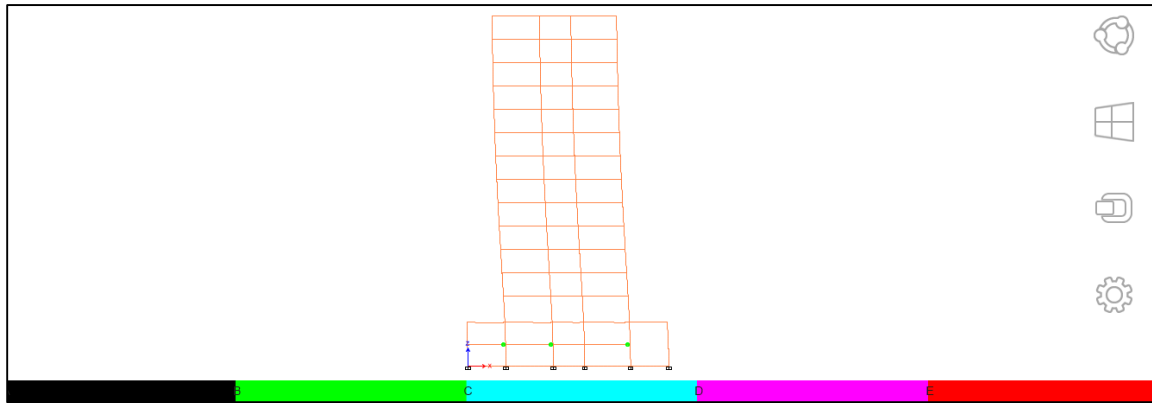


Figura 71. Pushx desplazamiento paso 1 de 4 eje 3 amenaza sísmica baja.
Fuente: elaboracion manual del autor

En este eje 3 se observa la formación de pocas rotulas para el paso 1. *Figura 71*.

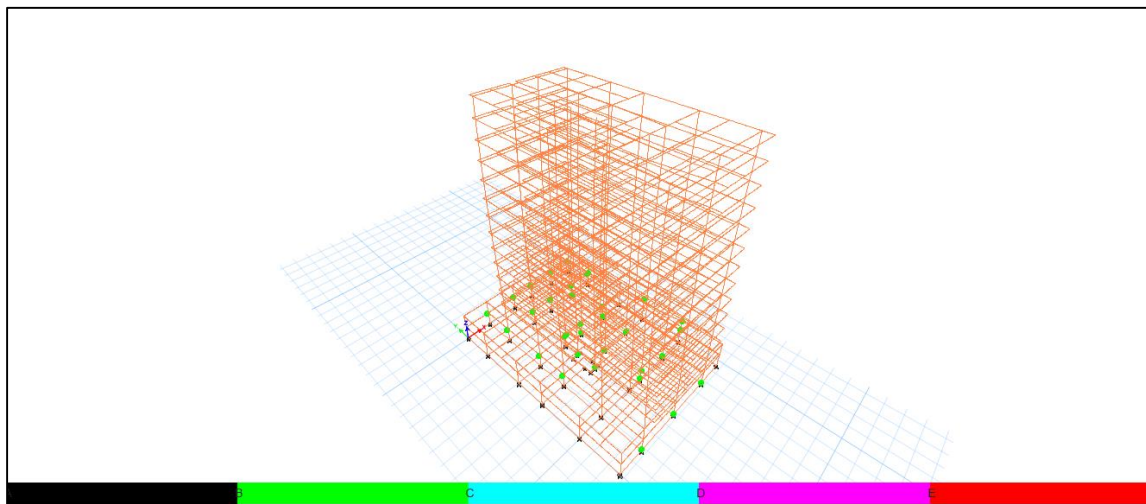


Figura 72. Pushx desplazamiento paso 2 de 4 amenaza sismica baja.
Fuente: Elaboración manual del autor

Se empiezan a presentar más rotulas plásticas en la vigas y empiezan a aparecer rotulas en las columnas, algunas columnas presentan rotulas plásticas por lo cual no es lo que se desea, porque se busca que primero fallen las vigas para que se forme un mecanismo de falla adecuado. *Figura 72*.

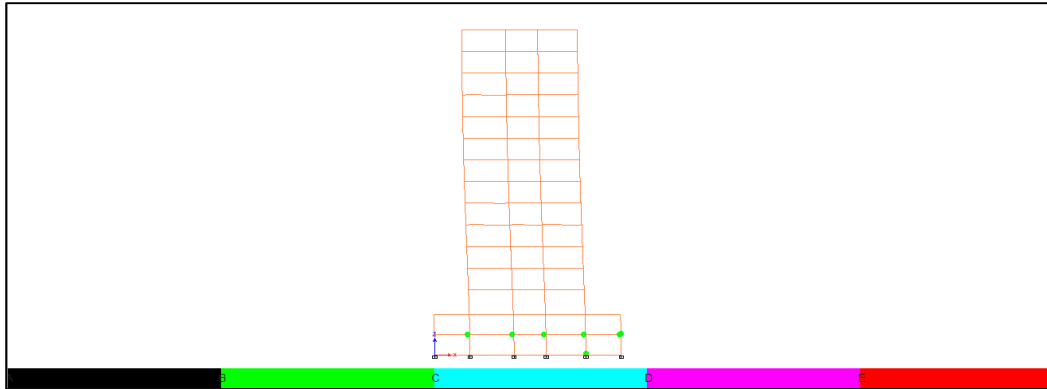


Figura 73. Pushx desplazamiento paso 2 de 4. Eje 2 amenaza sísmica baja.

Fuente : Elaboración manual del autor

En el eje 2 continua la formación de articulaciones plásticas en el Story 1 en las vigas, el mecanismo de falla es adecuado ya que presenta rotulas en sus vigas y también en algunas columnas, las rotulas formadas para este paso están todas en el nivel de Ocupación Inmediata.

Figura 73.

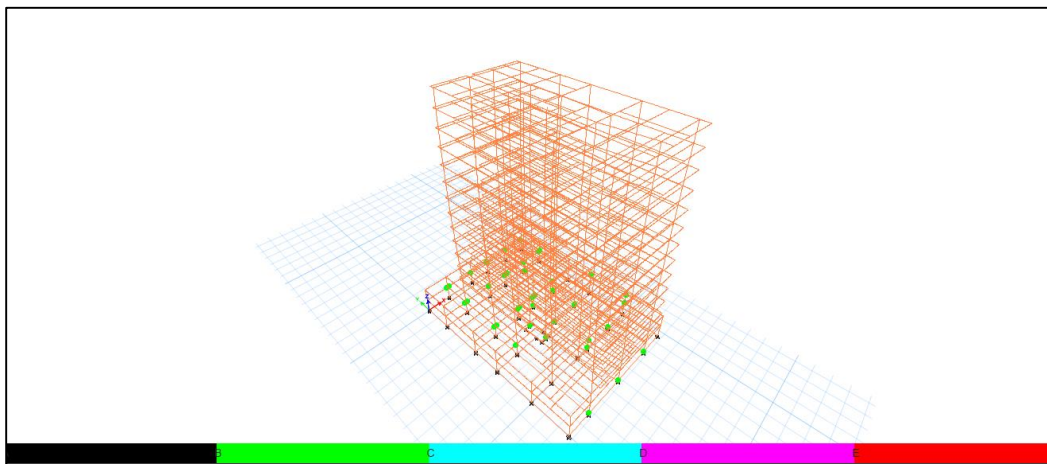


Figura 74. Pushx desplazamiento paso 3 de 4 amenaza sismica baja.

Fuente : Elaboración manual del autor

En el paso 3 la aparición de rotulas es mínima pero se presentan en columnas, Se presentan más rotulas plásticas en las vigas lo cual es algo bueno pero no que se presenten en las columnas, es negativo porque se genera un mecanismo de falla, pero no es tan grave porque se

están presentando en el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata, lo cual implica que no hay daños graves, ver *Figura 74*.

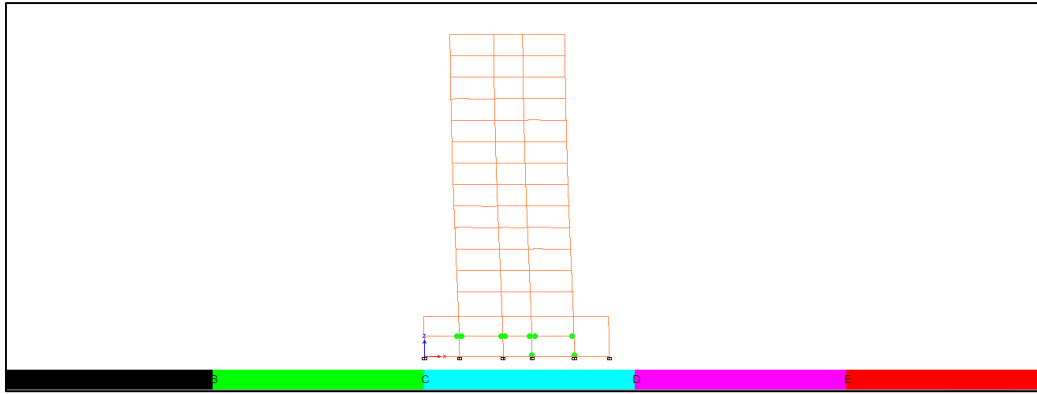


Figura 75. Pushx desplazamiento paso 3 de 4. Eje 3 amenaza sísmica baja.

Fuente : Elaboración manual del autor

En el eje 3 se visualiza que hay un mayor número de rotulas plásticas en la viga principal, este efecto de no generación de rotulas plásticas puede deberse a un muy buen refuerzo de los elementos estructurales columnas y vigas. *Figura 75*.

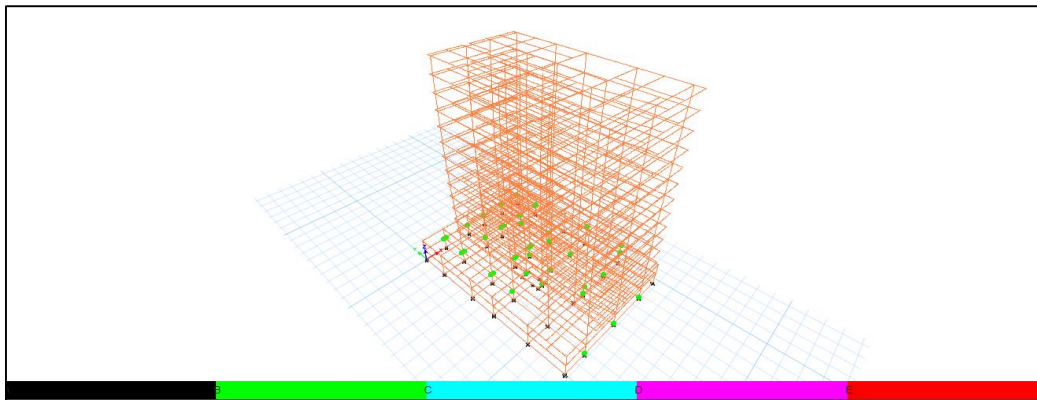


Figura 76. Pushx desplazamiento paso 4 de 4. amenaza sismica baja.

Fuente : elaboracion manual del autor

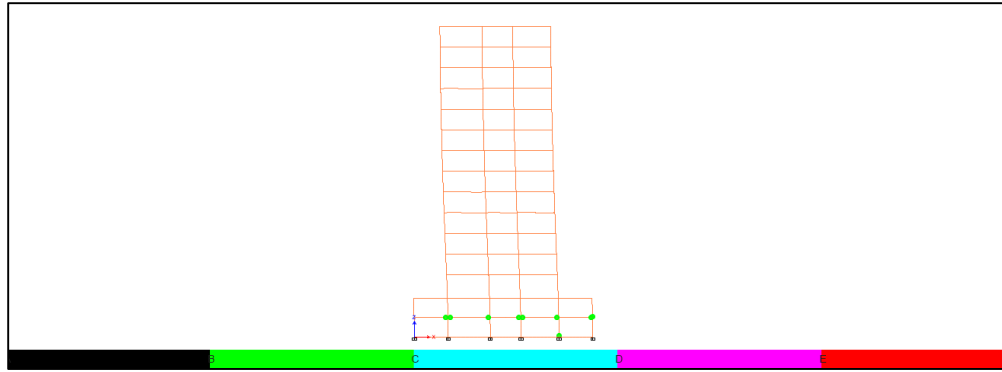


Figura 77. Pushx desplazamiento paso 4 de 4. Eje 2. amenaza sismica baja.

Fuente : elaboracion manual del autor

A finalizar los pasos para Pushx podemos decir que se formaron una cantidad similar de rotulas plásticas tanto en vigas como en columnas y el mecanismo de falla no es el más adecuado, pero el nivel de desempeño es bueno ya que la formación de rotulas plásticas se mantiene en el nivel de Ocupación Inmediata lo cual implica que el nivel de riesgo para la seguridad de la vida es muy bajo, se espera que en caso de presentarse un sismo los daños a los elementos estructurales sean mínimos y el edificio se pueda reocupar.

Se está presentando un total de 39 rotulas plásticas en el sentido X para una amenaza sísmica baja. 18 en columnas y 21 en vigas. *Figura 76.*

6.11.6 Amenaza sísmica baja Pushy.

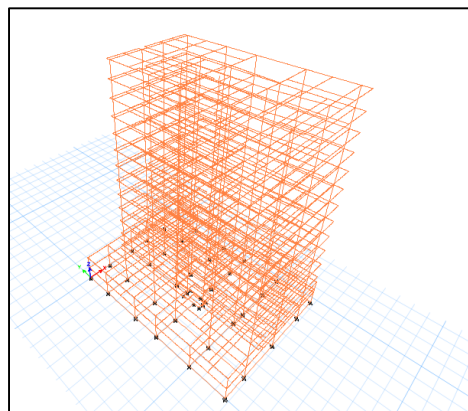


Figura 78. Pushy desplazamiento paso 0 de 3. amenaza sismica baja.

Fuente : Elaboración manual del autor

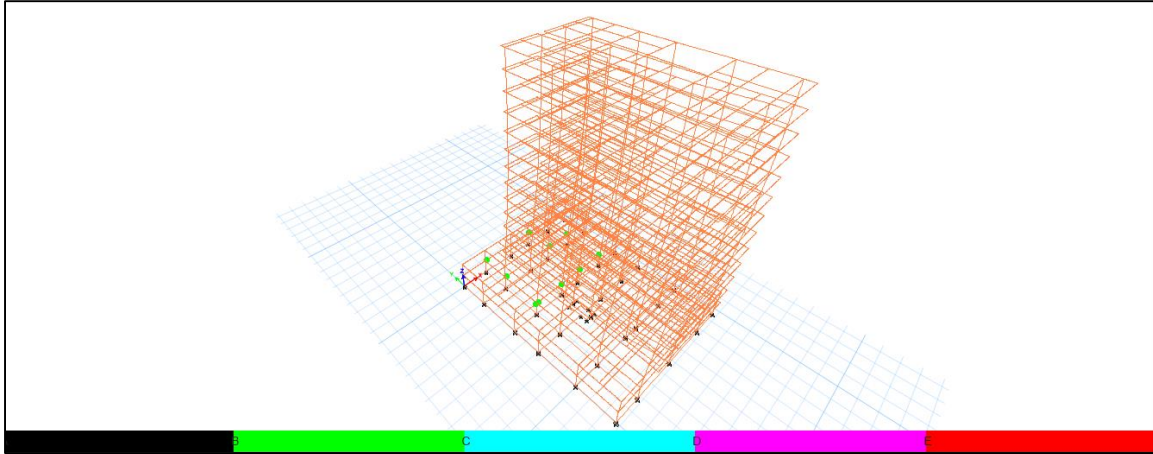


Figura 79. Pushy desplazamiento paso 1 de 3. amenaza sismica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se presentan rotulas plásticas en la vigas es lo que se desea, porque se busca que primero fallen las vigas para que no se forme un mecanismo de falla. Y por último cedan las columnas esto con el objetivo que el edificio pueda mantenerse en pie en caso de un *Figura 79*.

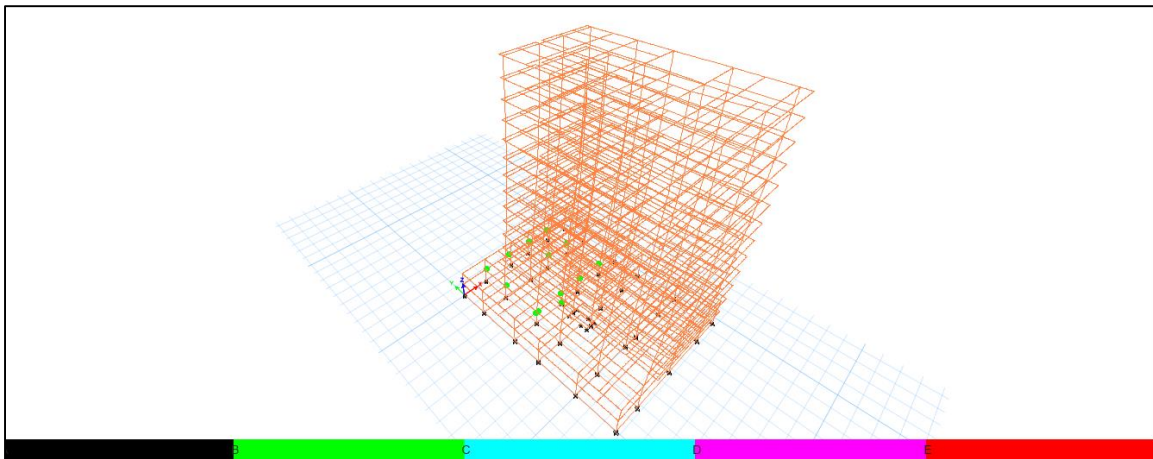


Figura 80. Pushy desplazamiento paso 2 de 3. amenaza sismica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

No hay mayor cambio entre Pushy desplazamiento paso 2 de 3 y el paso 3, se presentan las mismas rotulas plásticas en la vigas que en el paso 1 es lo que se desea, pero se empiezan a presentar las primeras rotulas plásticas en las columnas. *Figura 80*.

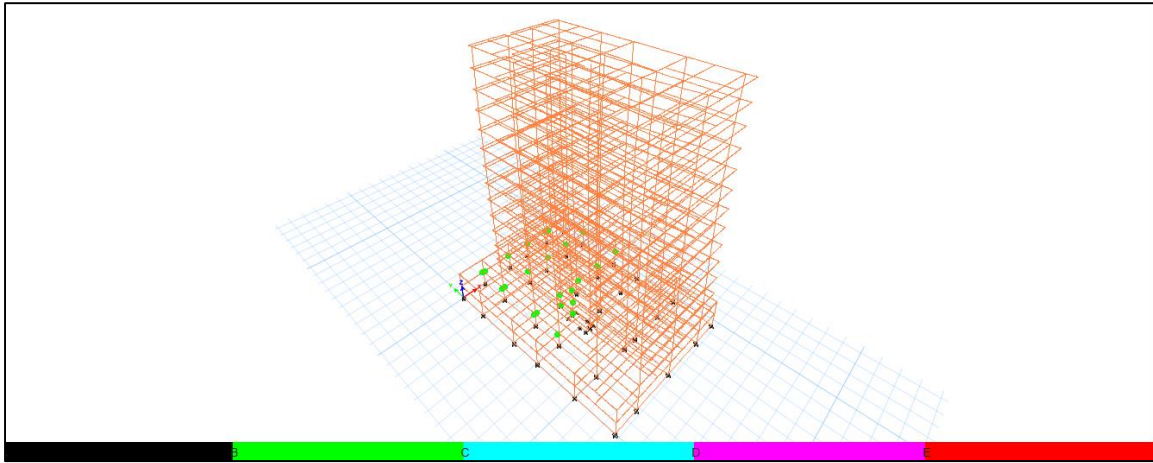


Figura 81. Pushy desplazamiento paso 3 de 3. amenaza sismica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se está presentando un total de 25 rotulas plásticas, 17 en vigas y 8 en columnas, todas en el nivel de desempeño Ocupación Inmediata. Por lo tanto el nivel de desempeño es de Ocupación Inmediata. *Figura 81.*

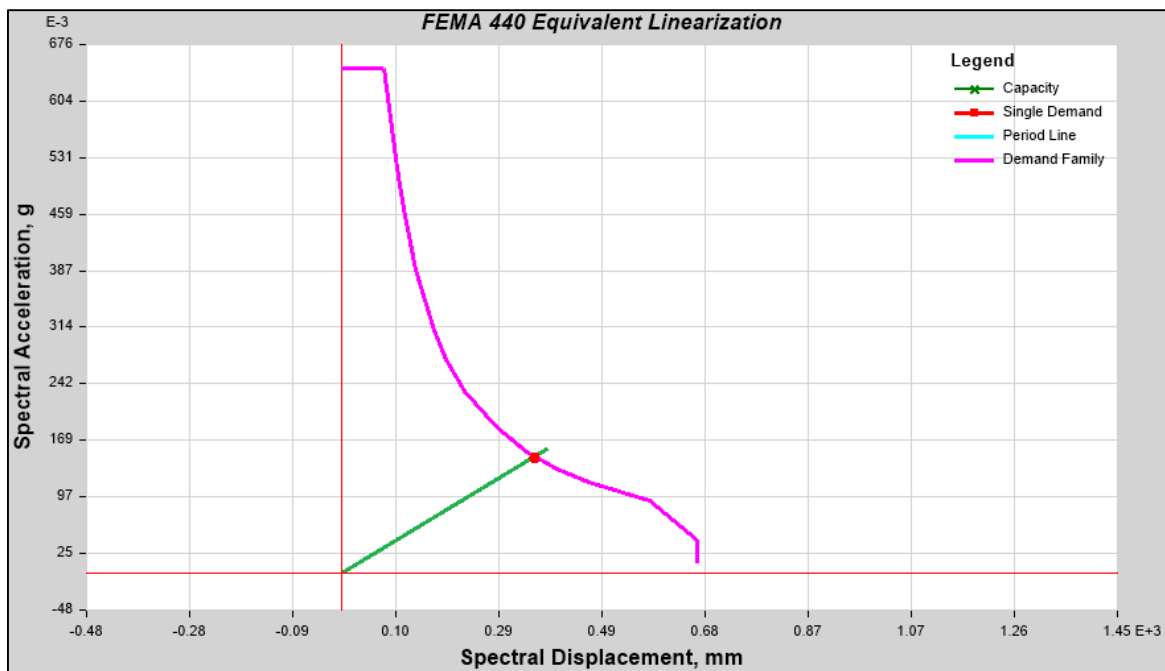


Figura 82 Aceleración espectral (S_a) vs Desplazamiento espectral (S_d). PUSHY. Amenaza sísmica baja.

Fuente: Elaboración manual del autor

El punto de desempeño indica el punto en el cual se igualan la demanda y la capacidad. Representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el terremoto de demanda. Figura 82.

6.11.7 Amenaza sísmica intermedia.

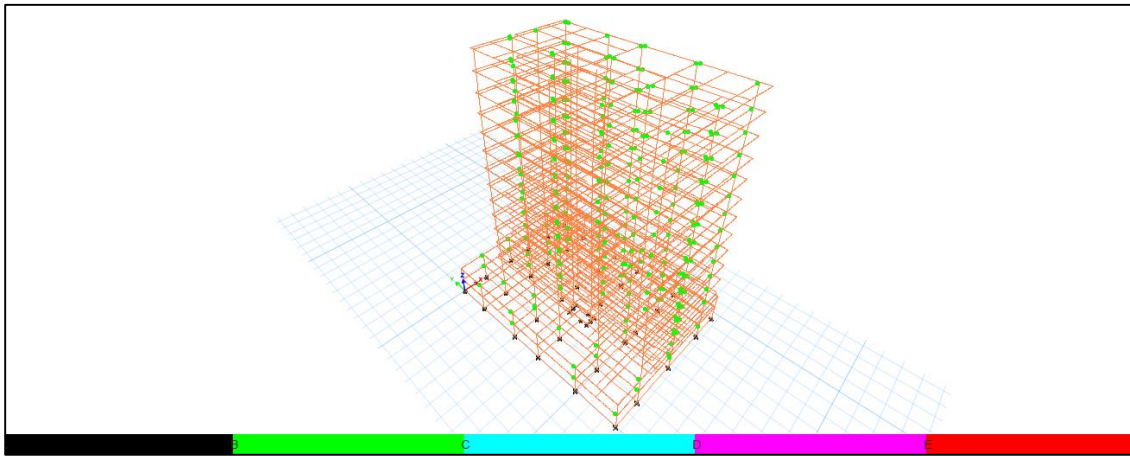


Figura 83. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se están formando rotulas plásticas en todos los pisos, para un nivel de amenaza sísmica intermedio la formación de las rotulas plásticas ocurre en todo el edificio, pese a que los parámetros sísmicos son un poco más agresivos en comparación con la amenaza sísmica baja el edificio continua mostrando un buen desempeño. *Figura 83*

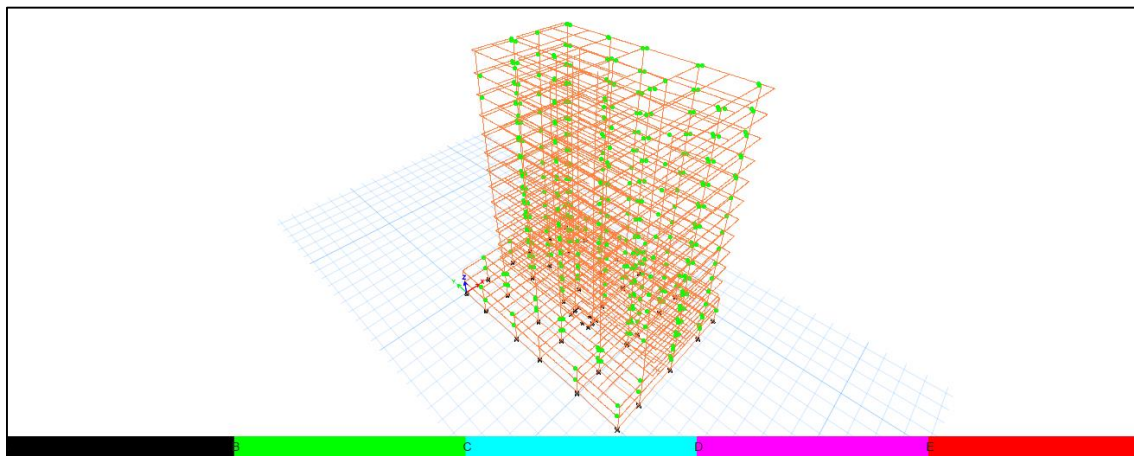


Figura 84. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

La diferencia entre el paso 1 y el paso 2 y el 3 es que se generan más rotulas plásticas en las vigas, nos interesa observar sobre todo el comportamiento final de cada rotula y su respectivo nivel de desempeño, *Figura 84*.

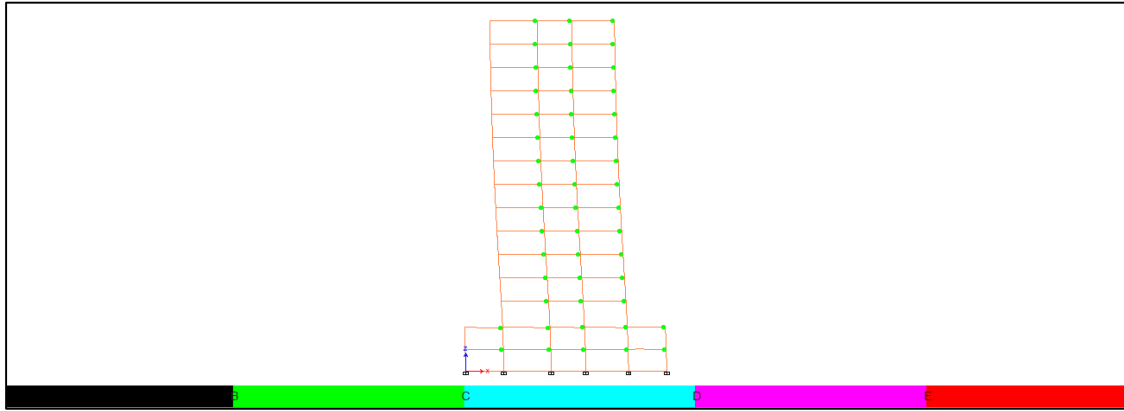


Figura 85. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje 2 se forman rotulas en todos los pisos en las vigas, no se forman rotulas en las columnas esto indica que el edificio puede tener una deformación bastante grande sin llegar a colapsar. *Figura 85*.

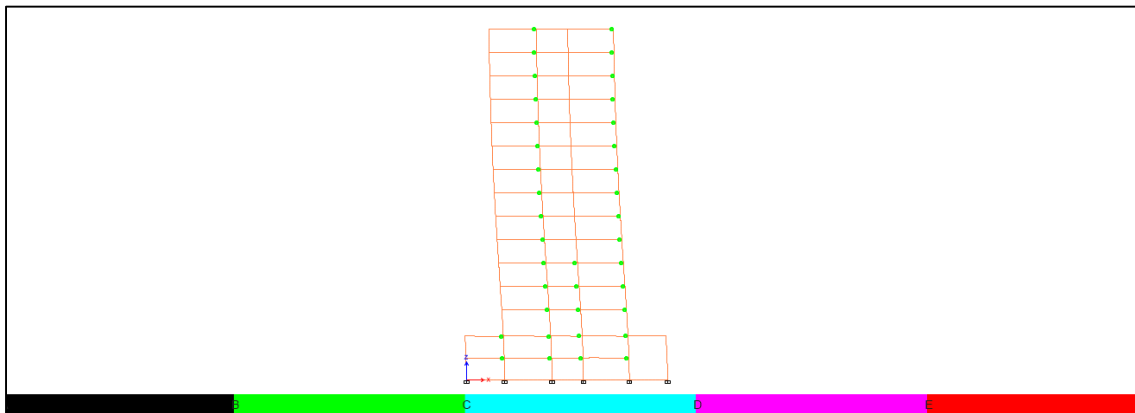


Figura 86. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 3 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

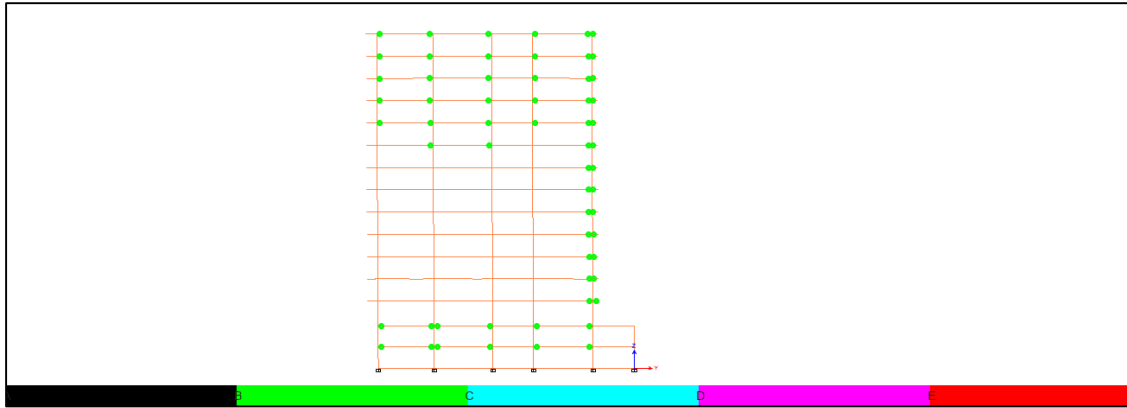


Figura 87. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje I amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

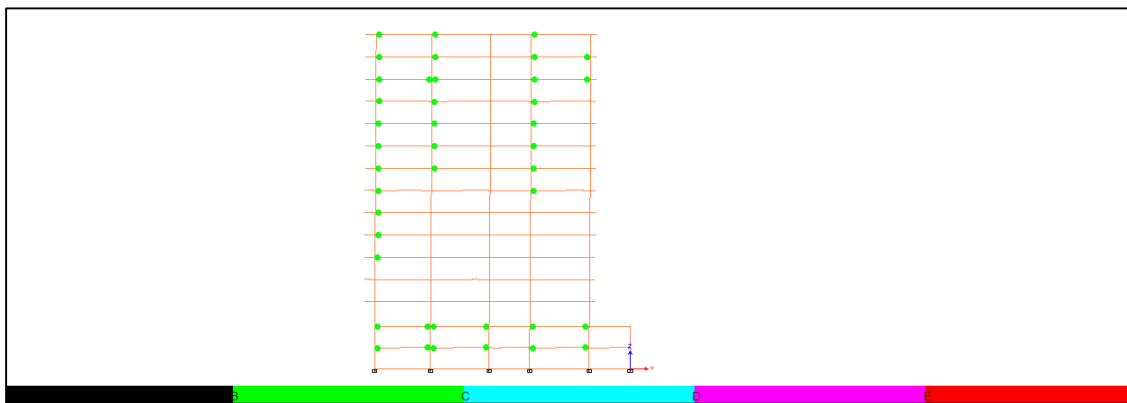


Figura 88. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sísmica intermedia

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje de podemos encontrar rótulas en los pisos uno y dos y en el nivel medio del edificio no están presentando rótulas plásticas pero sí en los niveles superiores de un toda la rotulas plásticas están presentando en las vigas esto es algo positivo ya que no se está generando mecanismo de falla, no encontramos ninguna rótula plástica en columnas. *Figura 88.*

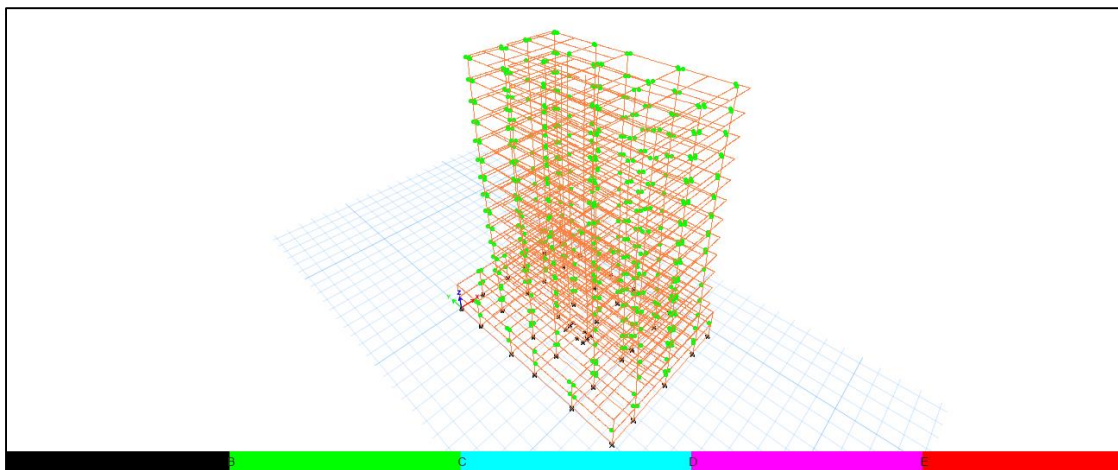


Figura 89. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 amenaza sismica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

Para el pushover en el sentido Y se están formando igualmente rotulas en todos los pisos en la mayoría de elementos. Se están presentando rotulas en todo el sistema estructural en la mayoría de elementos villas. *Figura 89.*

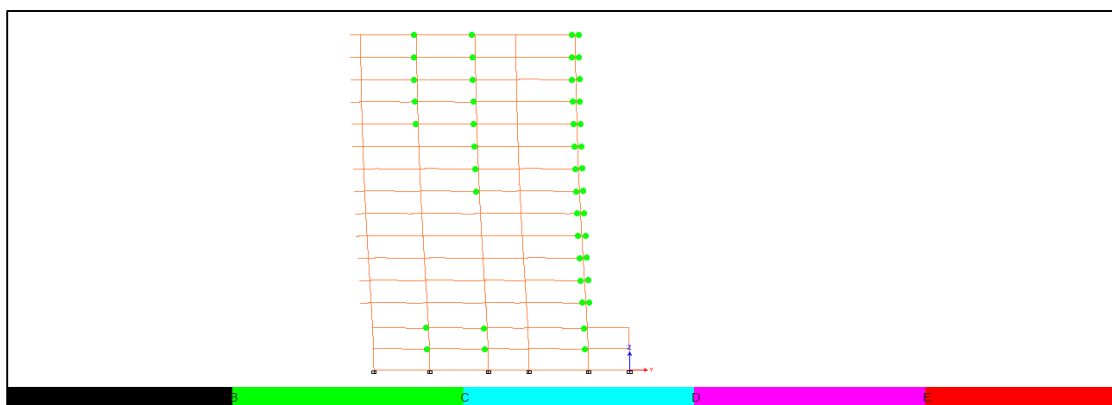


Figura 90. Pushy desplazamiento paso 1 de 2 Eje B amenaza sismica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje B se están presentando una mayor cantidad de rotulas plástica asimismo hacia la fachada, en los elementos que se encuentra en voladizo. *Figura 90.*

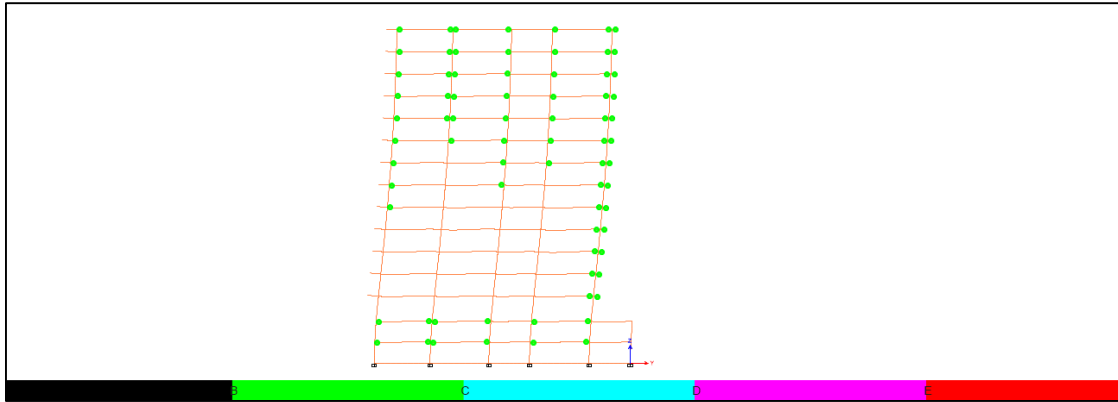


Figura 91. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 Eje B amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

La presión en el eje de los muestra que se sigue formando más rotulas plásticas hacia la parte del edificio en donde no se estaban presentando anteriormente y se encuentran rotulas en los pisos uno y dos en todos los nodos de las correspondientes vigas sin embargo no vemos rotulas en las columnas esto es algo positivo ya que como bien sabemos las columnas generan un mecanismo de falla. *Figura 91*

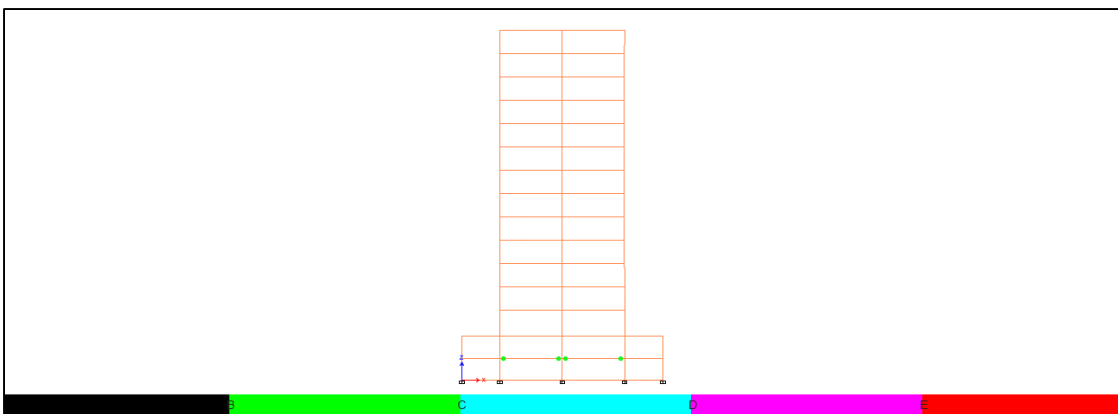


Figura 92. Pushy desplazamiento paso 1 de 2 Eje 6 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje 6 no está presentando rotulas plásticas en la mayoría de elementos pero se puede observar la formación de las rotulas en las vigas del Story 1, esto nos indica que los pisos inferiores son los que se encuentran mayormente solicitados sísmicamente por lo cual deben ser estos elementos los que se le realice una mayor rigurosa verificación tanto en el diseño como también

en la etapa constructiva del edificio esto con el objetivo de evitar y prevenir un error humano y que con esto se deje el edificio de una manera óptima para enfrentarse a un sismo. *Figura 92*

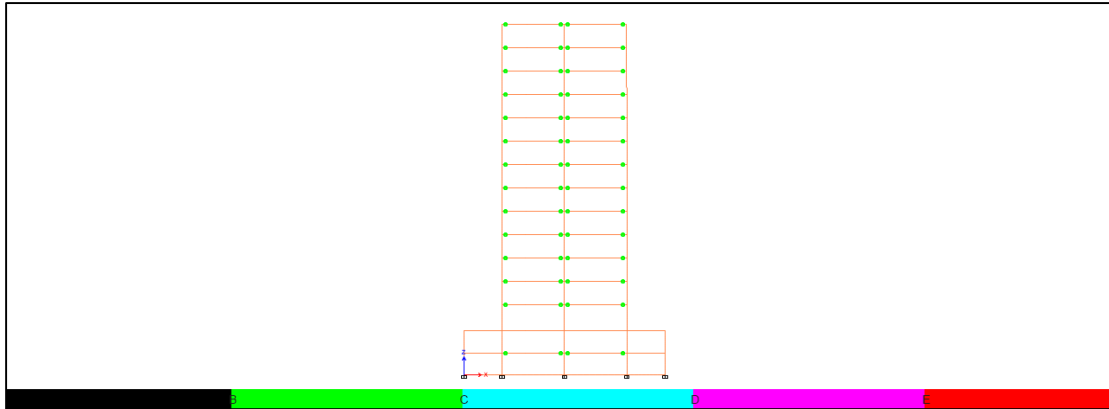


Figura 93. Pushy desplazamiento paso 2 de 2 Eje 6 amenaza sísmica intermedia.

Fuente: Elaboración manual del autor

En la progresión del paso 2 de 2 Eje 6 ver *Figura 93* podemos evidenciar un cambio drástico en la formación de las rotulas plásticas, en el anterior paso sólo se estaban presentando los pisos inferiores y en este caso actual se generan rotulas plásticas en casi todos los niveles exceptuando el tercero nos interesa sobre todo observar el final de la formación de las rotulas para así inspeccionar el nivel de desempeño, todas las rotulas se mantienen en el nivel de desempeño ocupación inmediata. 338 rotulas plásticas, todas en vigas, ni una sola rotula en columnas.

6.11.8 Amenaza sísmica alta.

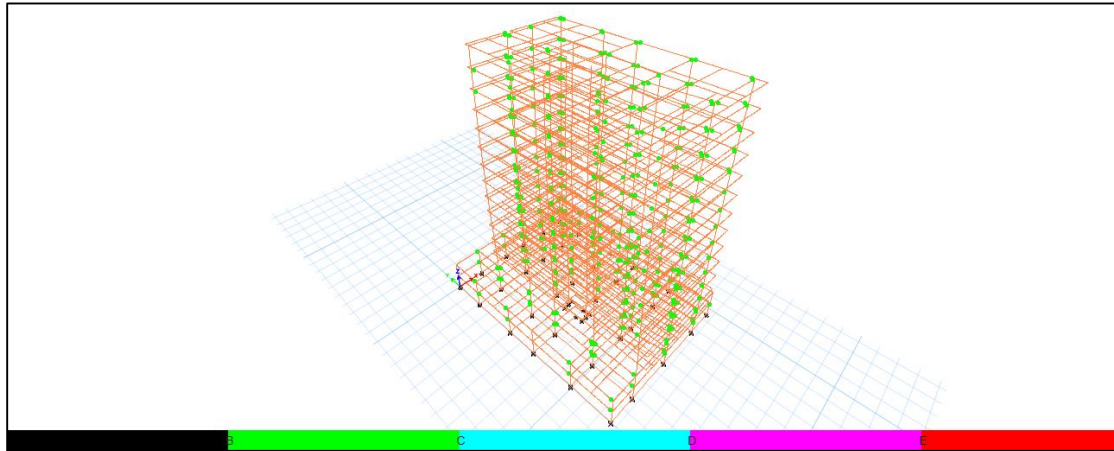


Figura 94. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

Se puede ver la formación de rotulas en la mayoría de elementos estructurales en los pisos superiores e inferiores. *Figura 94*

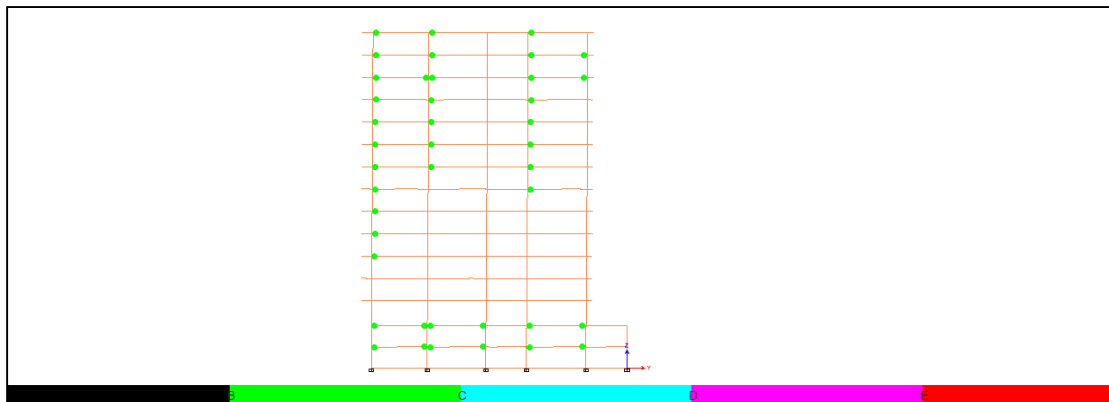


Figura 95. Pushy desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje B podemos ver una formación de rotulas prácticas en todo los nodos de los pisos uno y dos de sus correspondientes vigas, también una formación de rotulas prácticas hacia la parte de la fachada en la zona interna también observamos que los pisos tres cuatro cinco son los pisos en donde menos rotulas prácticas se están formando esto nos indica que estos pisos son los

menos exigidos sísmica mente y que los nodos de los elementos tienen una menor deformación.

Figura 95

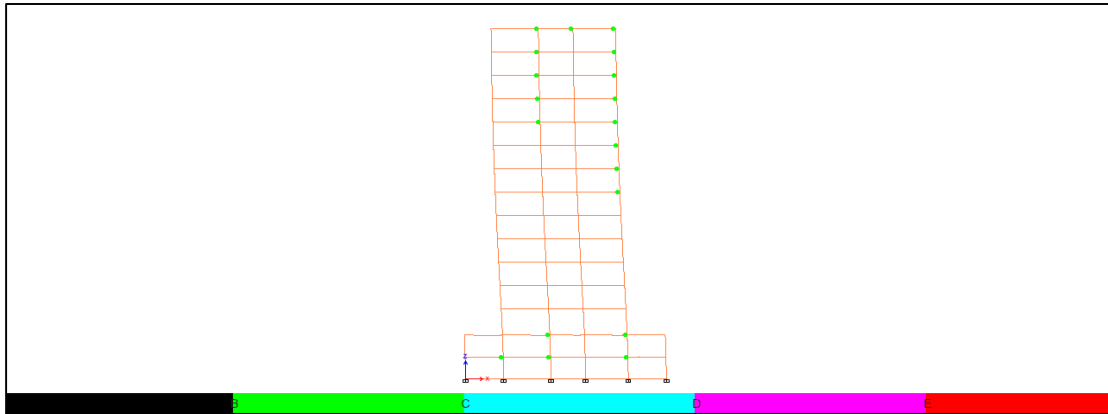


Figura 96. Pushy desplazamiento paso 1 de 3 Eje 2 amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el primer paso para el eje dos podemos observar la formación de las rotulas plásticas en los pisos inferiores y también en el nivel superior en el piso quince y en otros elementos estructurales más hacia el lado de la fachada. *Figura 96*

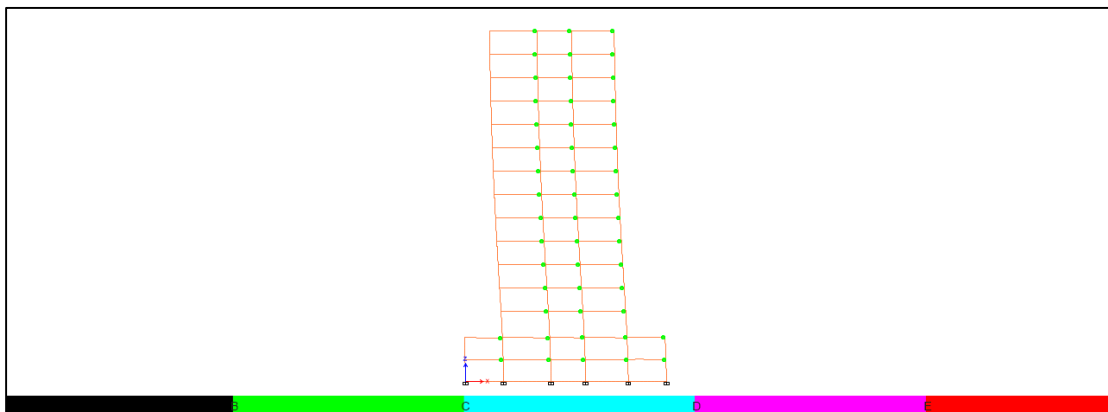


Figura 97. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el paso tres para el eje dos observamos un la acumulación de rotulas plásticas en todos los niveles del e edificio no se están presentando rotulas plásticas y las columnas por lo cual el edificio podría tener una gran capacidad del deformación sin colapsar. En este eje se puede visualizar una gran diferencia de formación de rotulas plásticas de un paso a otro sin embargo no se está generando como tal un mecanismo de falla debido a que no se está formando rotulas en las columnas. *Figura 97*

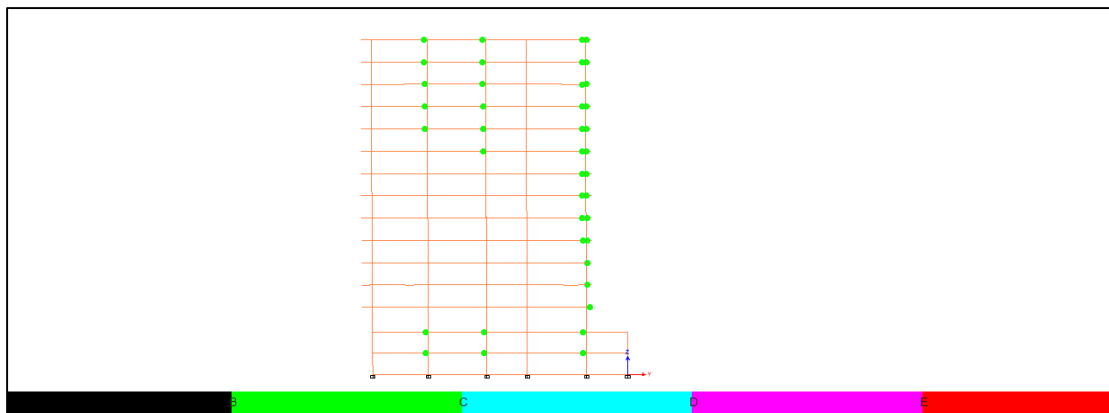


Figura 98. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 Eje I amenaza sismica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el eje I se están presentando rotulas plásticas más hacia las fachadas la en todos los elementos que está en voladizo, quizás sea debido a las solicitaciones que tienen estos elementos, en la parte superior se presentan pocas rotulas plásticas y en la parte media del edificio no se presenta ninguna así como de igual manera no se está presentando rotulas plásticas en las columnas lo cual es muy favorable para él edificio. *Figura 98.*

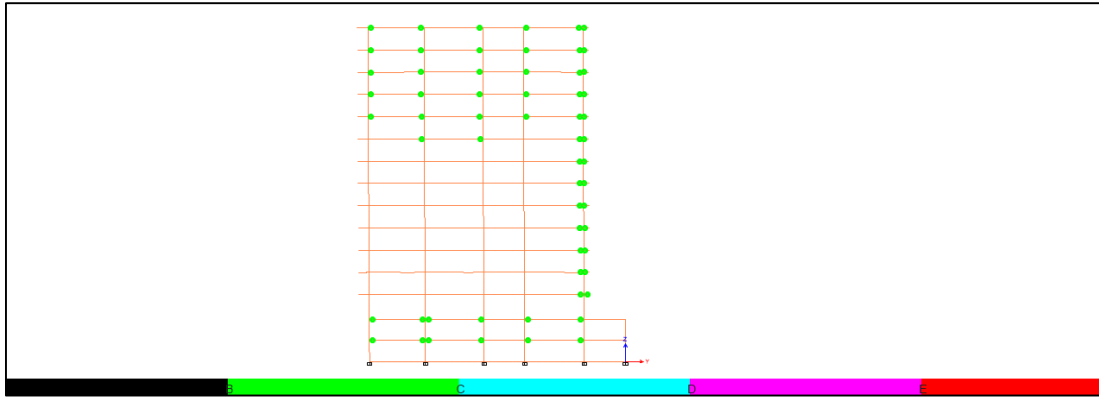


Figura 99. Pushy desplazamiento paso 3 de 3 Eje I amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

En el paso tres hay una aparición de rotulas prácticas en los elementos en donde antes no se estaban presentando y también en las vigas de los pisos superiores desde el piso 10 hasta el 15.

Figura 99.

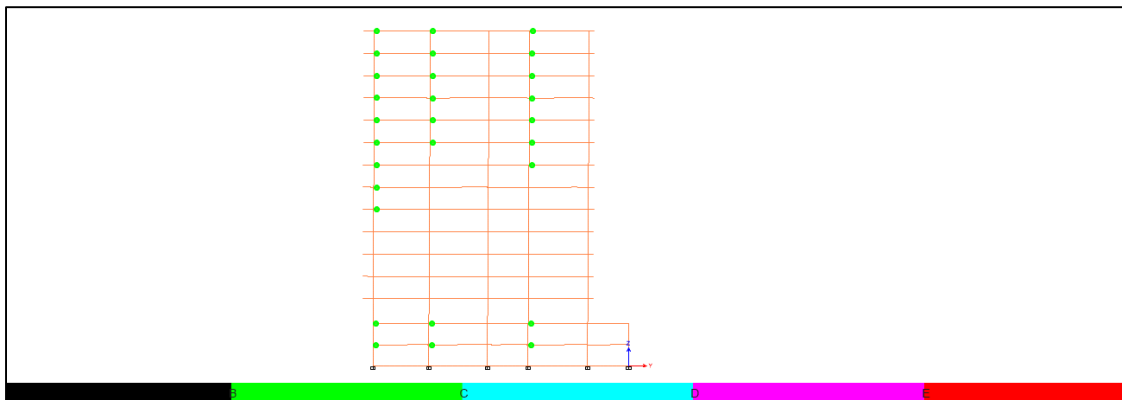


Figura 100. Pushx desplazamiento paso 1 de 3 Eje B amenaza sísmica alta.

Fuente: Elaboración manual del autor

Podemos ver que la parte media del edificio en muchos ejes no se está presentando rotulas prácticas por lo cual podemos decir que esta zona del edificio tiene una de formación de sus nodos mucho menor en comparación con los nodos de los extremos en las fachadas. Figura 100.

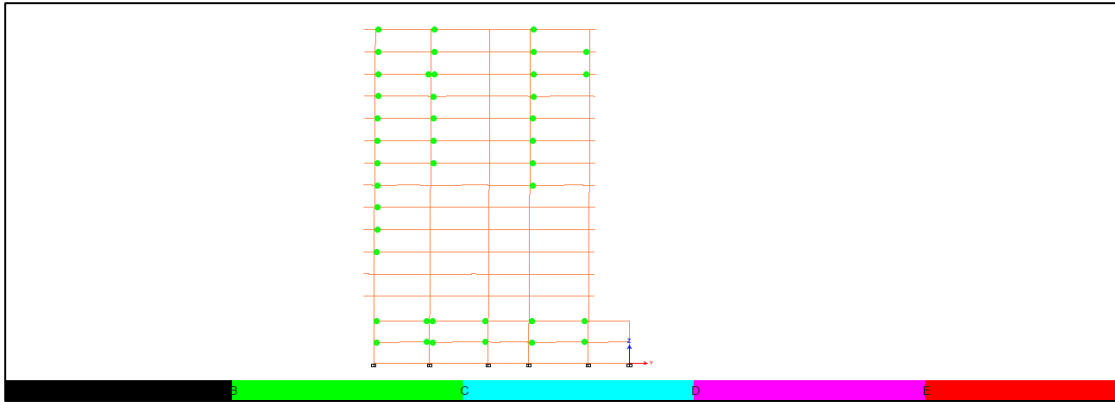


Figura 101. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje B amenaza sismica alta.
Fuente: Elaboración manual del autor

Continúan apareciendo más rotulas plásticas en niveles superiores, los inferiores sin embargo en los pisos intermedios no se están presentando o se están presentando pocas rotulas prácticas.

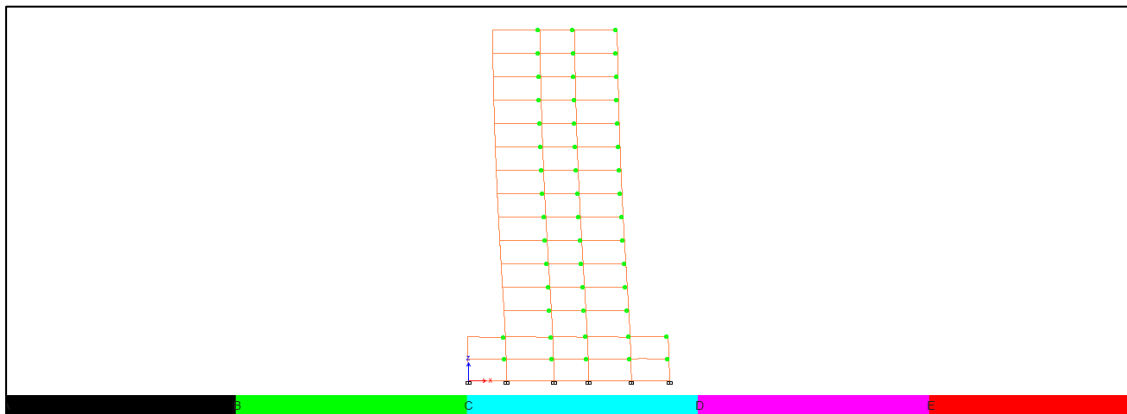


Figura 102. Pushx desplazamiento paso 3 de 3 Eje 2 amenaza sismica alta.
Fuente: Elaboración manual del autor

Se están presentando rotulas prácticas en todos los niveles 338 en total.

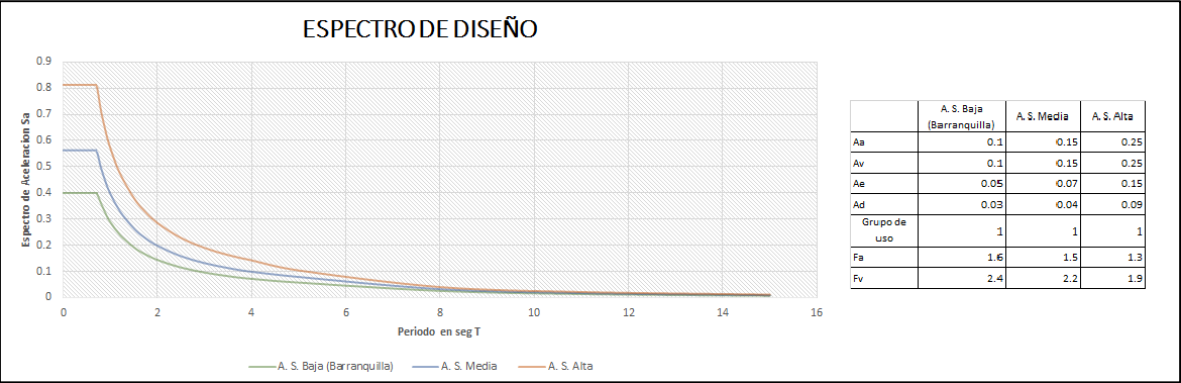


Figura 103. Espectros de diseño.
Fuente: Elaboración manual del autor

Si uno de los nodos de los elementos en el Story 1 presenta un acero de refuerzo deficiente el edificio se desplomaría, se realizó el ejercicio hipotético con la viga B en el Story 1 e insertando acero de refuerzo insuficiente y luego generando el análisis y arrojo que varios elementos llegarían al colapso lo cual podría generar un efecto en cadena y hacer colapsar toda la estructura.

6.11.7 Deriva máxima.

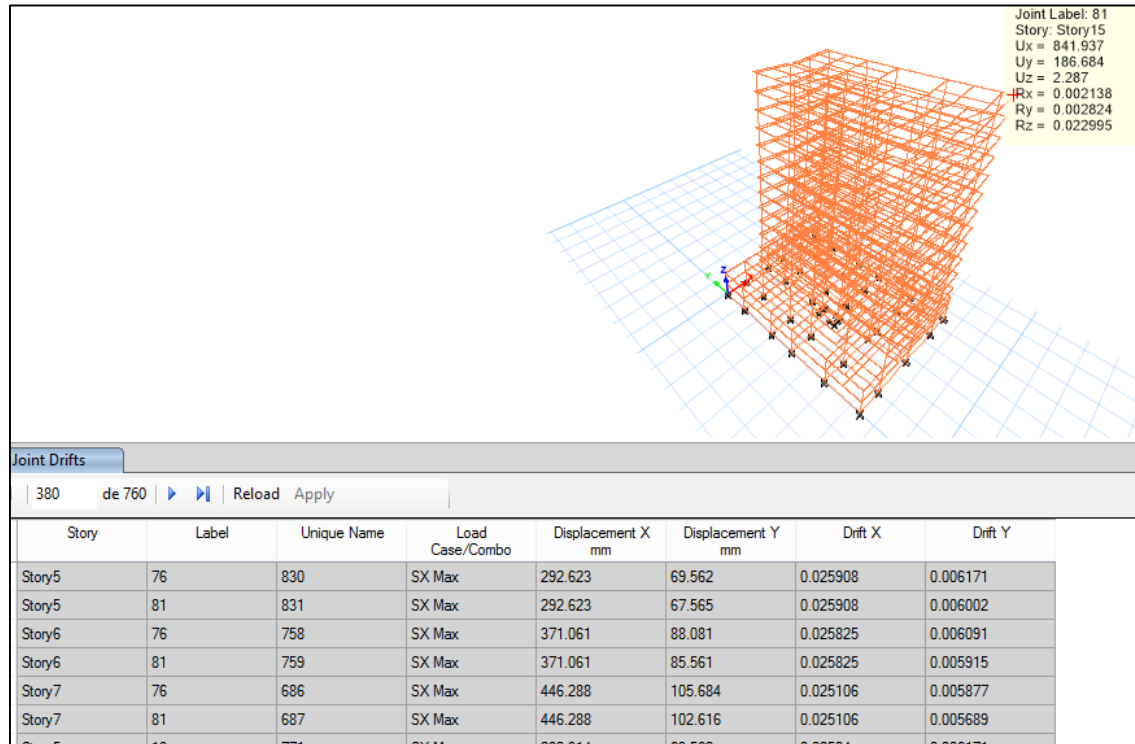


Figura 104. Deriva máxima.

Fuente : Elaboración manual del autor

Se puede observar en el punto en rojo que tiene una deriva total para una amenaza sísmica alta de 841.94 mm, correspondiente al 2.59% siendo la deriva máxima permitida 465 mm, correspondiente a al 1% de la altura del edificio. *Figura 104*

7. Conclusiones

Se concluye que el nivel de desempeño del edificio en caso de presentarse el sismo de diseño es el de ocupación inmediata, se espera un daño mínimo en elementos estructurales, se espera reocupar inmediatamente después de un sismo considerable. Se espera que sea necesario limpieza y reparación algunos de sus sistemas después de un sismo.

El edificio muestra en el primer paso del método pushover, que se están formando rotulas plásticas primero en vigas, lo cual es un buen mecanismo de falla. También muestra que los primeros elementos en los que se forman las rotulas plásticas son los elementos de abajo en el Story 1. En el segundo paso se forman rotulas plásticas en columnas, en el arranque de las columnas, también simultáneamente se forman rotulas plásticas en más vigas, mientras que en los pisos superiores no se está presentando rotulas plásticas.

Es por esto, que se puede afirmar finalmente, que del análisis hecho que el edificio en estudio muestra un comportamiento muy bueno ya que la mayoría de los elementos estructurales, no se están presentando rotulas plásticas y solo se están presentando rotulas plásticas en algunos de sus miembros al aplicarle el sismo en dirección X y en dirección Y.

Se espera del edificio que en caso de presentarse el sismo de diseño la mayoría de elementos queden totalmente operativos y algunos elementos en la parte baja del edificio presenten algún tipo de daño mínimo en elementos estructurales, tanto en vigas como en columnas.

Se puede decir que para un sismo de intensidad alta la deriva esperada es del 2.59% y el edificio y el nivel de desempeño consecuente es de ocupación Inmediata.

Por otro lado se debe dejar claro que el método pushover no es práctico para un edificio alto debido a que el procesamiento de los datos es un proceso lento lo cual lo hace muy poco

práctico como herramienta de diseño estructural, sin embargo, si es una herramienta muy poderosa para analizar el comportamiento estructural de un edificio.

Ademas de esto, para los sismos de amenaza sísmica intermedia y alta el edificio tiene un buen comportamiento sísmico pero no cumple con las derivas aun así el nivel de desempeño para ambos casos es de ocupación Inmediata.

Se determinó el punto de desempeño para el nivel de amenaza sísmica baja que corresponde a la ciudad donde está actualmente construido el edificio.

Referencias

academic.uprm.edu. (17 de Agosto de 2017). *academic.uprm.edu*. Obtenido de Análisis de fallas estructurales.:

<http://academic.uprm.edu/~lgodoy/courses/INCI6017/1%20Introduccion/Fallas%20estructurales.pdf>

Aguiar Falconi, R., Haarala Orosco, L., Adolfo Caro, R., & Haarala Orosco, M. (2004). *análisis por desempeño de un edificio de hormigón armado de la ciudad Salta Argentina*. Salta, Argentina.

AGUIAR, R. (2003). Análisis Sísmico por Desempeño. Bogota, Colombia: Universidad de Fuerzas Armadas.

ALVEAR S, J., & RUALES, J. (2014). *Diseño por desempeño en edificios de hormigón armado, de acero estructural, y mixtos*. Ecuador: Pontificia universidad católica del ecuador.

ARÉVALO PÉREZ, J., & BERMÚDEZ FLOREZ, W. (2007). *Niveles de daño a partir de un análisis Pushover para una estructura aporticada de concreto reforzado*. Bucaramanga, Colombia: Universidad industrial de Santander.

arquys.com. (29 de Agosto de 2017). *Arquitectura*. Obtenido de Modelo de Takeda de estructuras de hormigón: <http://www.arquys.com/arquitectura/modelo-takeda-estructuras.html>

ATC 40. (s.f.). ATC 40. *CALIFORNIA SEISMIC SAFETY COMMISSION Applied Technology Council*. EEUU.

BARRIOS, J. (18 de Agosto de 2017). *academia.edu*. Obtenido de Qué es la cuantía de área de acero. :

http://www.academia.edu/15510115/Qu%C3%A9_es_cuant%C3%ADa_de_%C3%A1rea_de_acero

CARRILLO, J. (2008). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño*. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.

catec.aero. (29 de Agosto de 2017). *catec.aero*. Obtenido de Análisis modal.:

<http://www.catec.aero/materiales-y-procesos/lisis-modal.htm>

CHUNAS, G., & ADOLFO, V. (2011). *Evaluación del desempeño sismorresistente usando análisis no lineal en el tiempo*. Perú: Universidad Católica de Perú.

citethisforme.com. (29 de Agosto de 2017). *Estructuras Sismorresistentes*. Obtenido de Análisis

Modal Espectral: <http://www.citethisforme.com/es/cite/website/autocite>

civilengineeringtr. (17 de Agosto de 2017). *scontent.cdninstagram.com*. Obtenido de Rotula

plástica en una columna: [http://scontent.cdninstagram.com/t51.2885-](http://scontent.cdninstagram.com/t51.2885-5/s480x480/e35/17881138_1020069518137409_3915124013294157824_n.jpg?ig_cache_key=MTQ4OTg1ODkxNDkyNDI2OTc4NQ%3D%3D.2)

[5/s480x480/e35/17881138_1020069518137409_3915124013294157824_n.jpg?ig_cache_key=MTQ4OTg1ODkxNDkyNDI2OTc4NQ%3D%3D.2](http://scontent.cdninstagram.com/t51.2885-5/s480x480/e35/17881138_1020069518137409_3915124013294157824_n.jpg?ig_cache_key=MTQ4OTg1ODkxNDkyNDI2OTc4NQ%3D%3D.2)

CÓDIGO DE HAMMURABI. (s.f.). *www.unizar.es*. Obtenido de Historia Antigua Universidad de Zaragoza: <https://www.unizar.es/hant/POA/hammtemas.pdf>

CRISAFULLI, F., & VILLAFANE, E. (2002). Espectros de respuesta y de diseño. Mendoza , Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.

DAVID DE LA HOZ, E., & RICO ORDOÑEZ, A. (2015). *Relación entre el Diseño del Edificio E-Sura de Barranquilla con el Desempeño Esperado por la norma NSR-10*. Barranquilla, Atlantico, Colombia: Universidad de la Costa.

Diagramas de Interaccion en Columnas. (25 de Agosto de 2017). Obtenido de Scribd:

<https://es.scribd.com/document/76377310/Diagramas-de-Interaccion-en-Columnas>

El tiempo, E. (2010). *El tiempo*. Obtenido de Modelo para VIS sismorresistentes:

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-4240024>

elsevier.es. (17 de Agosto de 2017). *elsevier.es*. Obtenido de Rotula plástica:

http://www.elsevier.es/ficheros/publicaciones/02131315/00000029000000004/v1_201311210056/S021313151200048X/v1_201311210056/es/main.assets/gr14.jpeg

FARAH, J. C. (17 de Agosto de 2008). *A prueba de destrucción*. Obtenido de Tesorero de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.:

<http://www.obrasweb.mx/construccion/2008/08/01/a-prueba-de-destruccion-acuten>

FEMA 349. (s.f.). FEMA 349. *AGENCIA FEDERAL PARA LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS*.

EEUU: Federal Emergency Management Agency iv.

FOPAE, F. D. (2011). *Guía Técnica para Inspección de Edificaciones Después de un Sismo* (Tercera ed.). Bogotá: FOPAE.

GALLEGO, M. (2001). *Diseño sísmico por desempeño en Colombia*. Bogota: Revista de ingeniería de la universidad de los andes.

Gálvez Villacorta, A. (30 de Noviembre de 2010). *Verificación del desempeño sísmico metodología y ejemplos*. Obtenido de IX Convención internacional lima: http://www.aci-peru.org/eventos/IX_Conv_Nov/06_Adolfo_Galvez%20_-_Verficac

Gálvez Villacorta, A. (Noviembre de 2010). VERIFICACION DEL DESEMPEÑO SISMICO Metodología y Ejemplos. *IX CONVENCION INTERNACIONAL*. LIMA , PERU: ACI PERU.

- GARCÍA, R. (Agosto de 2016). *Economía y Negocios*. . Obtenido de Cantidad de súper rascacielos del planeta se duplica en solo cinco años:
<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=223600>
- Geofisicaexploraciones. (2017). *Ingeniera sísmica aplicada a la ingeniería*. Obtenido de
<http://geofisicaexploraciones.com/ingenieria-sismica-aplicada-a-la-ingenieria/>
- Hormigón: Propiedades. citado en . (17 de Agosto de 2017). Obtenido de
http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades
- Ingeniería Estructural. (2012). Obtenido de La importancia de aprender de experiencias pasadas : <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=36&edi=2&xit=ingenieria-estructural-la-importancia-de-aprender-de-experiencias-pasadas>
- INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA . (26 de Septiembre de 1970). *sish.sgc.gov.co*. Obtenido de <http://sish.sgc.gov.co/visor/>
- INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA . (28 de Julio de 2017). *sismicidad-diaria*. Obtenido de <http://200.119.88.135/RSNC/index.php/sismicidad-diaria>
- INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA. (22 de Mayo de 1834). *sish.sgc.gov.co*. Obtenido de <http://sish.sgc.gov.co/visor/>
- ISHWARYA, AROCKIASAMY , & SENTHIL. (2016). *Análisis Pushover inelástico no lineal de las cubiertas tipo en el mar a lo largo de plataformas con diferentes sistemas de arriostramiento considerando la interacción suelo estructura*. India: Revista de transporte and ingeniería de océano.
- MONSALVE DÁVILA, J. T. (2005). *Análisis y diseño sísmico por desempeño de edificios de muros estructurales*. Bogota, Cundinamarca, Colombia: Universidad de los andes.

Mora, M., Villalba, J., & Maldonado, E. (Julio de 2006). *scielo.org.co*. Obtenido de Revista

Ingenierías Universidad de Medellín:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200006

NSR10, N. S. (31 de Diciembre de 2010). *Titulo A*. Bogota, Cundinamarca, Colombia:

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Osvaldo , G., & Villanueva, M. (2009). Diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de

hormigón armado. *Diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

parro.com. (29 de Agosto de 2017). *parro.com*. Obtenido de Diccionario de arquitectura y

construcción.: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-per%E0dodo+propio+de+una+vibraci%F3n>

PAZ, E. (2012). *Procedimiento de cálculo para la elaboración de espectros sísmicos para el diseño sismorresistente de estructuras*.

RAJ, A., & MR. SARAVANAN, M. (2016). *Análisis no lineal de estructuras con marco de concreto reforzado usando Sap2000*. Tiruvanmalai, India: Revista Internacional de Investigación Técnica y Aplicaciones.

researchgate. (Agosto de 2017). *researchgate.net*. Obtenido de Espectro-elastico:

https://www.researchgate.net/figure/309182918_fig3_Figura-5-Espectro-elastico-con-los-espectros-de-respuesta-y-el-espectro-medio-de-los

SÁNCHEZ AGUILAR, M. (2010). *Diseño Sísmico Basado en Desempeño para una Edificación Esencial de Concreto Reforzado* (Única ed.). Monterrey , México: Instituto tecnológico y de estudios superiores de monterrey.

- SÁNCHEZ BADILLO, A., & TERÁN GILMORE, A. (2008). *Diseño por desempeño de estructuras dúctiles de concreto reforzado ubicadas en la zona del lago del Distrito Federal*. (scielo.org, Ed.) Recuperado el 2016, de Ejemplo de aplicación. Ingeniería sísmica,: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2008000100003&lng=es&tlng=es.
- SARRAZIN, M. (2012). *Portal minero*. . Obtenido de SARRAZIN, Mauricio. (2012). Portal minero. “Fue muy grato recibir el apoyo de los ingenieros estructurales más destacados del país”. Chile. Recuperado de <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=70090771>
- TAIPE CARBAJAL, J. (2003). *Criterios de diseño por desempeño para la norma Peruana de diseño sismorresistente*. Lima, Perú: Universidad nacional de ingeniería.
- TAPIA HERNÁNDEZ, E. (18 de Agosto de 2017). *scielo*. Obtenido de Diseño sísmico de marcos de acero contraventeados: Parte 1: recomendaciones de diseño. : http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2013000100003
- upcommons. (27 de Agosto de 2017). *Desempeño sísmico de edificaciones*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93538/15CAPITULO6.pdf>
- Upv.es. (17 de Agosto de 2017). Obtenido de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_3.html
- Villanueva , M., & Osvaldo, G. (2009). *Diseño sísmico por desempeño aplicado a un edificio de hormigón armado*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

Bibliografía

Castañeda Bermejo, D. (16 de Junio de 2015). Análisis No Lineal PUSHOVER. Obtenido de

<https://www.youtube.com/watch?v=ytHx90Vwv5M>

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FOPAE. Guía Técnica para Inspección de

Edificaciones Después de un Sismo Tercera Edición Bogotá. 2011 pág. 30.

NORMA SISMO RESISTENTES COLOMBIANA. Título A Requisitos generales de diseño y construcción sismo

resistente. sección A.3.4.2.4, pág. A-45.

Toledo Espinoza, V. (Abril de 2011). Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño. Obtenido de

www.cingcivil.com